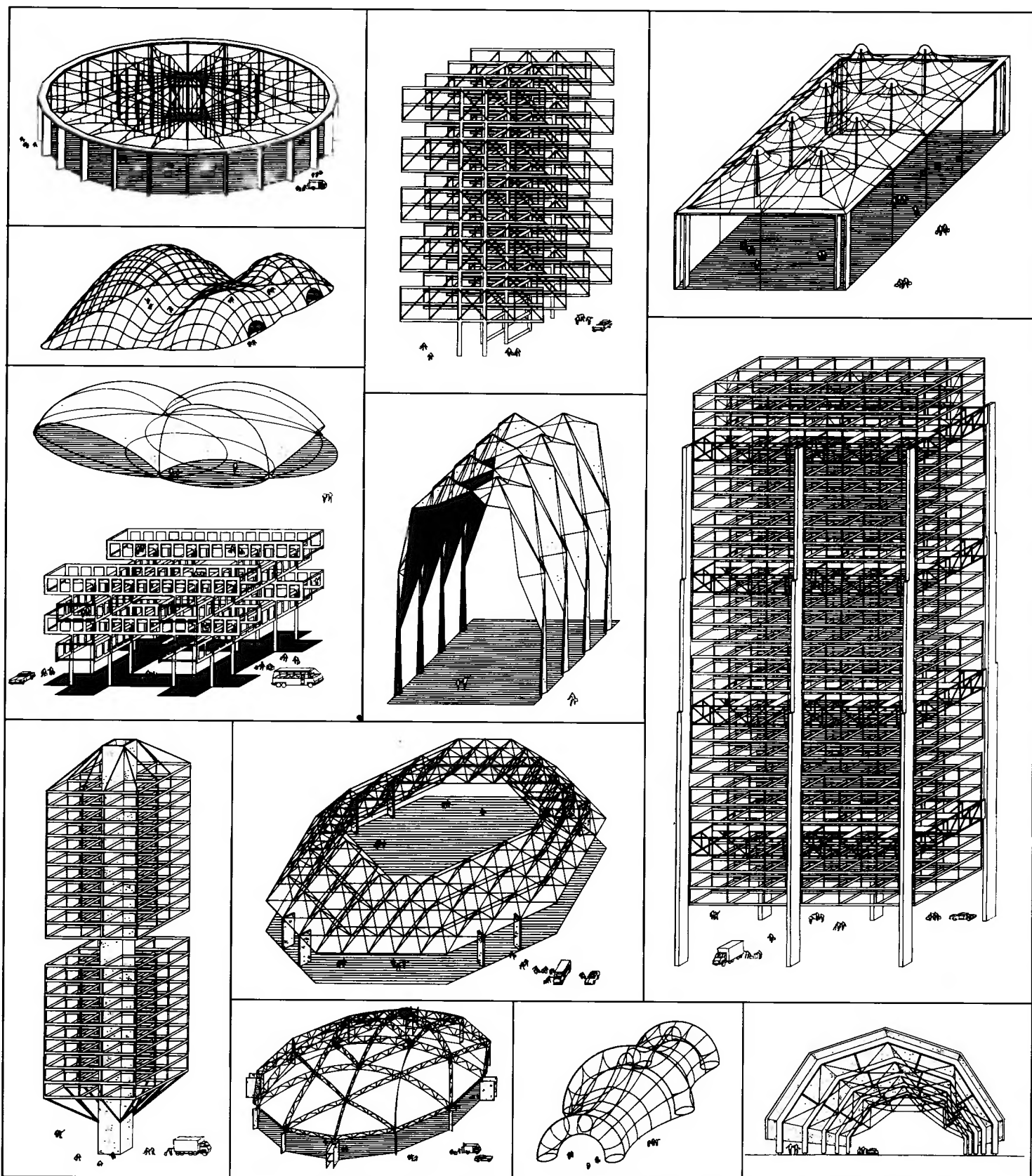


VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.COM

УНИКАЛЬНОЕ СПРАВОЧНОЕ  
ИЗДАНИЕ, В КОТОРОМ  
ПРЕДСТАВЛЕНЫ ВСЕ ТИПЫ  
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

# Несущие системы



Хайно Энгель

УДК 692  
ББК 38.71-01  
Э62

**Heino Engel**  
**TPAGSYSTEME**

Verlag Gerd Hatje  
1997

Перевод с немецкого Л.А. Андреевой

Научные редакторы  
д.т.н., профессор В. В. Егоров, канд. архитектуры, профессор Ю. А. Никитин

**Энгель, Х.**

Э62 Несущие системы / Хайно Энгель; предисл. Ральфа Рапсона;  
пер. с нем. Л.А. Андреевой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 344 с.: ил.

ISBN 5-17-039883-2 (ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 5-271-12642-0 (ООО «Издательство Астрель»)

ISBN 3-7757-0706-9 (нем.)

**УДК 692**  
**ББК 38.71-01**

Учебное издание

**Хайно Энгель**

### **НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

Зав. редакцией Т.М. Минеджян

Редактор Н.И. Гинзбург

Технический редактор Т.П. Тимошина

Корректор И.Н. Мокина

Компьютерная верстка А.С. Борисовой

Подписано в печать с готовых диапозитивов заказчика 05.07.2006 г.  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 43,0.  
Тираж 3000 экз. Заказ № 2463.

Общероссийский классификатор продукции  
ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.02.953.Д.003857.05.06 от 05.05.2006 г.

ООО «Издательство Астрель» 129085, Москва, пр-д Ольминского, 3а  
ООО «Издательство АСТ» 170002, Россия, г. Тверь, пр-т Чайковского, д. 27/32

Наши электронные адреса:

[www.ast.ru](http://www.ast.ru)

E-mail: [astpub@aha.ru](mailto:astpub@aha.ru)

Редакция приглашает к сотрудничеству авторов

E-mail редакции: [artshist@astrel.ru](mailto:artshist@astrel.ru)

[tatyana@astrel.ru](mailto:tatyana@astrel.ru)

Издано при участии ООО «Харвест».

Лицензия № 02330/0056935 от 30.04.04.

Республика Беларусь, 220013, Минск, ул. Кульман, д. 1, корп. 3, эт. 4, к. 42.

Республиканское унитарное предприятие

«Издательство «Белорусский Дом печати».

Республика Беларусь, 220013, Минск, пр. Независимости, 79.

ISBN 5-17-039883-2 (ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 5-271-12642-0 (ООО «Издательство Астрель»)

ISBN 3-7757-0706-9 (нем.)

ISBN 978-985-13-8946-5 (ООО «Харвест»)

© 1997 Heino Engel + Verlag Gerd Hatje

© ООО «Издательство Астрель».

Перевод на русский язык, 2006

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| От автора                                       | 6  |
| Предисловие<br><i>Ральф Рапсон</i>              | 7  |
| Предисловие автора<br>к переработанному изданию | 10 |
| Введение                                        | 11 |

## **0 ОСНОВЫ/ СИСТЕМАТИКА**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Значение и функция                                                      | 16 |
| Архитектурное проектирование<br>и проектирование несущих<br>конструкций | 20 |
| Темы / Понятия / Отношения /<br>Силы                                    | 25 |
| Критерий систематизации                                                 | 30 |
| Обзор / Схема распределения /<br>Классификация                          | 32 |

## **1 АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ несущие системы**

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| Определение / Обзор /<br>Пролеты            | 49  |
| Вантовые несущие<br>конструкции             | 55  |
| Тентовые несущие конструкции                | 78  |
| Пневматические несущие<br>конструкции       | 89  |
| Арочные несущие конструкции<br>опорные арки | 104 |
| опорные решетки                             | 112 |

## **2 АКТИВНЫЕ ПО ВЕКТОРУ несущие системы**

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Определение / Обзор /<br>Пролеты | 125 |
| Плоские решетчатые<br>фермы      | 131 |
| Изогнутые фахверковые<br>системы | 140 |
| Пространственные<br>фахверки     | 148 |

## **3 АКТИВНЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ несущие системы**

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Определение / Обзор /<br>Пролеты             | 163 |
| Балочные несущие<br>конструкции              | 169 |
| Рамные несущие<br>конструкции                | 178 |
| Несущие конструкции<br>из перекрестных балок | 192 |
| Несущие конструкции<br>из плит               | 198 |

## **4 АКТИВНЫЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ несущие системы**

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Определение / Обзор /<br>Пролеты   | 203 |
| Панельные несущие<br>конструкции   | 209 |
| Складчатые конструкции             | 211 |
| Оболочковые несущие<br>конструкции |     |
| цилиндрические оболочки            | 227 |
| сферические оболочки               | 237 |
| седловидные оболочки               | 248 |

## **5 АКТИВНЫЕ ПО ВЫСОТЕ несущие системы**

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Определение / Обзор /<br>Операции         | 259 |
| Деформация и стабилизация                 | 268 |
| Системы вертикальной<br>передачи нагрузок | 283 |
| Примеры типичных структурных<br>форм      | 290 |
| Геометрия вертикальных<br>проектирований  | 301 |

## **6 ГИБРИДНЫЕ несущие системы**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Определение /<br>Потенциал           | 311 |
| Системы, наложенные друг<br>на друга | 315 |
| Сопряженные<br>системы               | 318 |
| Комбинированные<br>гибридные системы | 319 |

## **7 ГЕОМЕТРИЯ И СТРУКТУРНАЯ ФОРМА**

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| Значение / Функции                      | 321 |
| Геометрия и картина сил                 | 326 |
| Плоские поверхности /<br>Многогранность | 328 |
| Поверхности с простой<br>кривизной      | 334 |
| Сферические<br>поверхности              | 336 |
| Седловидные поверхности                 | 339 |
| Список литературы                       | 344 |



## ОТ АВТОРА

Истоки этой работы восходят к педагогической деятельности автора в Америке в Архитектурной школе при университете Миннесоты с 1956 по 1964 год. Духовная атмосфера школы породила идею этой работы и послужила фундаментом при переработке и дополнении нового издания.

В осуществлении идеи и публикации книги в 1967 году принимали участие многие люди – коллеги, студенты, эксперты-специалисты. Среди них три человека заслуживают особого упоминания. Без них не состоялась бы эта работа, или, по меньшей мере, она приобрела бы принципиально иную позицию по целевой установке и форме.

Профессор Ральф Рапсон, в то время декан Архитектурной школы университета, был инициатором цикла тех лекций, из которых и возникла эта книга. Академическая атмосфера, созданная Рапсоном как личностью, атмосфера заинтересованности и профессионализма, споров и дискуссий сформировали идею и профиль этой работы.

Кандидат технических наук Ханнскарл Бандель (ум. в 1993), всемирно известный ученый и инженер, тогда партнер по работе в бюро Зеверуд, был воплощением творческого начала в строительном искусстве. Его безоговорочная уверенность, что научная тематика может быть раскрыта и сугубо изобразительными средствами, обрела право голоса в информационной и содержательной концепции книги.

Профессор Гунтис Плезумс, тогда молодой выпускник архитектурной школы, а позднее признанный преподаватель вуза и эксперт в области несущих конструкций, был ближайшим соратником в дискуссиях о возможных системах для архитекторов. И позднее, в 1967 году, после выхода в свет книги, он на протяжении многих лет критически и заинтересованно принимал участие в последовательной работе над ней, вплоть до выхода нового переработанного и дополненного издания.

1967

Как следствие быстрого расширения и усложнения строительной практики сегодня более, чем в какое-либо другое историческое время, архитектор видит себя стоящим перед запутанной проблемой претворения многих научных и технических достижений в искусстве архитектуры. Существенной фазой этой сложной проблемы является творческая интеграция несущей конструкции в процесс проектирования.

В своей книге архитектор Хайно Энгель находит компромисс в этой крайне запутанной области и предлагает единственный в своем стиле и рискованный путь наведения мостов над бездной между теорией и реальностью несущих конструкций.

Несмотря на то, что книга посвящена системам архитектурных несущих конструкций, ее главная задача – достижение гармонии архитектурной формы и окружающего пространства. Механизмы строительных несущих конструкций находят объяснение, в основном, в наглядных примерах, отражающих их широкие возможности в создании проектов и являющихся составляющим фактором того многого, что формирует окружающую среду и, таким образом, становится легко понятным для сознания архитектора. Наука о несущих конструкциях – поистине неисчерпаемая; она дает толчок к развитию представлений о создании проектов, а также резко меняет сами эти представления.

В этом и состоит значение книги. В ней равным образом можно увидеть подтверждение тех директив в учебном плане, которые я использовал для Архитектурной школы университета Миннесоты и в которые Хайно Энгель внес серьезный и значительный вклад в качестве приглашенного профессора.

Моя задача как автора предисловия – отобразить ту духовную среду, в которой зародилась эта книга и в которой закладывался ее фундамент.

## ПРОЕКТ: ТВОРЧЕСКИЙ СИНТЕЗ

Архитектурный проект – это искусство и действие, способные разрешить материальными средствами конфликт человека и окружающей среды. Проект – это многообразный и сложный процесс, где глубоко внутри имеющейся средовой ситуации лежит органичное и естественное решение. Многие факторы и компоненты являются тем, что определяет облик окружающей среды: историческая непрерывность, региональ-

ные и местные условия строительства, физические и психологические пожелания общества, конструктивные нововведения и эффективность, выразительная форма.

Многосторонние обязанности и ответственность за создание облика окружающей среды требуют сегодня универсальности архитектора, что ранее не представлялось возможным. Если архитектор надеется найти значимые решения, соразмерные с возможностями нашего времени, он должен иметь в виду, что архитектура, продолжая оставаться в первую очередь искусством, превратилась между тем в точную науку, которая основывается на скоординированном использовании различных областей знаний.

Сегодня любая имеющая место ситуация с окружающей средой жаждет запутать архитектора в огромной паутине различных видов деятельности – от рекламы и программирования до исследований и статистической обработки, от крупномасштабного городского и регионального планирования до детальных проектов и управления строительством. От архитектора следует ожидать, что он, будучи универсальным специалистом, будет в достаточной степени владеть знаниями в области экономики и социологии, эстетики и инженерного дела, городского планирования и строительного проектирования с тем, чтобы воплотить все это в творческом синтезе.

## ПРАКТИКА: РАЗЛИЧНЫЕ ТАЛАНТЫ

Однако на деле в строительной практике редко какой-то один специалист обладает таким количеством знаний. Гораздо чаще с подобными объемами, крупномасштабными заданиями справляются скоординированные группы людей. Это, однако, на мой взгляд, не должно означать коллективный проект. Ибо, если тех, кто вносит вклад в процесс проектирования и поддерживает его, много, то, по моему глубокому убеждению, должна быть еще центральная авторитетная личность, отвечающая за проект.

Следует сказать, что вообще архитекторы отличаются очень разным уровнем способностей и интересов, но в наибольшей степени их талант как практиков раскрывается в том случае, если они задействованы в соответствии со своей специализацией. Во время обучения в школе уровень развития молодого ума еще не продвинулся так далеко, чтобы он мог установить, где кроется его основной талант. Воспитание не может подогнать всех под установленные нормы.

Отсюда следует, что общее предшествует индивидуально и что следует уделять внимание основам и методике.

## **ОБРАЗОВАНИЕ: ЗАНЯТИЯ С ОТДЕЛЬНОЙ ЛИЧНОСТЬЮ**

Образование архитектора – это процесс, который должен восприниматься двояко: с одной стороны, необходимо развивать архитектурные убеждения, которые достойны высоких целей и возможностей нашего времени. С другой стороны, необходимо разработать множество приемов – те детальные и технические знания, которые необходимы, чтобы получить скоординированный общий результат.

Основополагающим для образования является понимание того, что мы не можем быть полностью уверены в конечности каких-либо знаний или фактов или что на каждый вопрос существует однозначный ответ. И архитектура, решающая самые насущные проблемы человечества, редко будет предлагать только черно-белое решение для определенной ситуации внешней среды. Напротив, существует огромное богатство цветовой палитры, которое ограничивается только врожденными или благоприобретенными способностями архитектора.

Образование должно развивать инициативы и интеллектуальные способности отдельного человека. Существует три обширных фазы этого процесса: во-первых, разум должен научиться анализировать четко и логично и мыслить творчески; во-вторых, разум должен развивать способности творческого применения знаний и интеллекта; в-третьих, разум должен оставаться живым и подвижным – тем самым он не теряет способность задавать вопросы и учиться.

Полное понимание этого процесса обучения является весьма существенным. Творческое мышление – не мистический, не изолированный феномен; оно может быть только результатом систематического овладения знаниями и фактами, которые лежат в основе широко-масштабной целевой установки. Внушающие доверие привычки и действия, а также и давно известные ответы часто не оставляют пространства для сомнений, а без сомнений немыслимо существование самого процесса обучения. В растущем запасе знаний и опыта, накопленного в предшествующих удачных решениях, кроется вездесущая опасность парализовать свежую силу воображения.

Основательность является существенным свойством, без которого не получится архитектора. Воспитание

должно привить студенту постоянную привычку поиска и движения вперед, привычку, которая позволит ему грамотно овладеть, переработать и использовать полученные знания.

## **ВДОХНОВЕНИЕ: ТРУДНАЯ ЛЮБИМАЯ РАБОТА**

Творческий синтез – это, прежде всего, живительная кровь архитектурного образования и архитектурной практики. Способность использовать благоприобретенные знания умно и с фантазией – неотъемлемое качество любого творчески мыслящего архитектора. В настоящее время все еще существует представление о том, что, собственно, представляет собой творческий акт. В общем и целом, мне кажется, что творческая архитектурная деятельность основывается прежде всего на духовном осмыслении связей с общей структурой приобретенных знаний.

Интуиция и вдохновение – это важные факторы в творческом процессе. Но вдохновение – это не праздные мечты, как воображают себе многие, это трудоемкая и всегда любимая работа. Интуитивные действия могут иногда не иметь под собой очевидных оснований, однако все они имеют под собой определенную почву, которая формируется из воспитания и приобретенных знаний, культурного наследия и родительского дома, вкуса и понимания, мировоззрения и этики.

При этом образование не сводится к накоплению фактов и данных; цель воспитания – возбуждать и воспламенять разум, расширять горизонты и учить людей мыслить самостоятельно. При этом воспитание должно способствовать развитию интеллекта, ибо многие из динамичных качеств, которые мы хотели бы вложить в разум, достигаются только благодаря тому, что процесс обучения превращается в захватывающее приключение – в длительный поиск нового и неизведанного, которые для архитектора достигают своего апогея в творческом синтезе.

## **АРХИТЕКТОР: УЧИТЕЛЬ ПО НЕСУЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ**

Как практикующий архитектор и как преподаватель архитектуры я был в равной степени связан и с теорией, и с практикой. Уже давно я установил, что обычные методы введения молодых архитекторов в область теории несущих конструкций далеки от того, чтобы считаться удовлетворительными; они слишком сложны, запутаны и неправильно ориен-

тированы. Они не создают четких связей со всем процессом проектирования сооружения, словом, не в состоянии побудить молодого проектировщика творчески использовать конструктивные принципы.

Активное участие в самом строительстве дает сильный импульс именно преподаванию какого-либо специфического предмета в архитектурной области. Мне кажется, что практикующий архитектор, поскольку он настроен прогрессивно и демонстрирует свой талант в соответствующей области, больше всего подходит для того, чтобы познакомить начинающего специалиста с определенной областью науки.

На этом основании я в 1959 году попросил Хайно Энгеля, который тогда уже три года преподавал на архитектурном факультете, подготовить и прочитать лекции и провести практические занятия по предмету «Несущие конструкции», целью которых было прояснить принципы, которые лежат в основе разработки и создания несущих конструкций, и показать их формообразующие возможности.

Бесценный материал лекций и практических занятий, который разработал Хайно Энгель, создал основы нового и оригинального пути к пониманию и использованию формообразующих возможностей несущих конструкций.

Эта книга заинтересует каждого, кто занимается архитектурным проектированием: студенту она даст позитивные методы, благодаря которым он сможет быстро овладеть обширными и полезными знаниями по всем несущим конструкциям; архитектору покажет новые возможности в проектировании сооружений; преподавателю предоставит систематизированный материал в специализированной области.

Книга устраняет предубеждение, что сугубо техническая тема не может быть основательно и исчерпывающе обсуждаться с помощью наглядных графических средств. Так как книга охватывает только основные принципы и поэтому исключает многие детали, которые часто скрывают истинную проблему, она может дать толчок подобным систематическим исследованиям во многих других специальных областях, которые определяют архитектурный облик.

1997

С тех пор как 30 лет назад «НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ» впервые увидели свет, сфера деятельности по формированию окружающей среды претерпела многие изменения. Различные разработки в науке, технологиях и коммуникациях вместе с общественными, экономическими и политическими преобразованиями на глобальном уровне привели к тому, что процесс оформления окружающей среды стал еще более комплексным. Объем включенных сюда областей знаний стал, видимо, бесконечным. Хотя верно и то, что прогресс в компьютерном проектировании (CADD) открыл абсолютно новый потенциал в возможностях проектирования. Однако такое развитие приводило, и довольно часто, к грубым нарушениям в использовании этих возможностей в технологических дисциплинах.

Книга Хайно Энгеля «НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ» подтверждает, что существуют основы проектирования, которые не зависят от течения времени. Перед нами книга, которая дает упорядоченную систему практически не зависящих от времени, принципиальных знаний, просто необходимых архитектору и инженеру. Я считаю, что идеи этой книги еще более актуальны, чем раньше.

Основополагающие аргументы в работе Энгеля подтверждают и мои собственные представления об изучении архитектуры, которые я реализовал на практике в качестве руководителя Архитектурной школы при университете Миннесоты с 1954 по 1984 год. С удовлетворением могу констатировать, что мои тогдашние убеждения актуальны и по сей день и что они продолжают жить в великолепных работах Хайно Энгеля.

Данное переработанное издание может быть оценено как абсолютно новое. Оно не только дает новую информацию и творческие предложения по самой теме, но и впервые обосновывает необходимость объемной систематизации принципов несущих конструкций. Лежащее перед Вами издание представляет собой классифицированный укомплектованный «словарь» языка форм несущих конструкций в строительстве. При этом разработанный Хайно Энгелем способ выражения идей не только ясен и доступен, но и отличается эстетическим блеском.

Короче говоря, все то, что я рекомендовал 30 лет назад, остается в силе, и даже в еще большей степени отражается в этом издании: «НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ» можно смело рекомендовать всем без исключения архитекторам, инженерам и дизайнерам!



## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ПЕРЕРАБОТАННОМУ ИЗДАНИЮ

После своего выхода в свет в 1967 году книга «Несущие системы» вызвала противоречивые отклики в читательской среде специалистов:

- одобрение попытки автора вернуть архитектора в область знаний, связанную с проектированием конструкций;
- критика попытки донести учение о несущих конструкциях не через математический анализ, а с помощью простого наглядного языка.

Со стороны приверженцев «чистой» статистики высказывалось даже опасение, что книга может стать соблазном для проектирующего архитектора!

Перед лицом столь противоречивой оценки необходимо привести следующие факты. За 30 лет:

- книга в неизменном виде издавалась в общей сложности семь раз – последний раз в Японии в 1994 году;
- книга была переведена на несколько языков и издана во многих странах (США, Испания, Тайвань, Бразилия, Англия, Япония, Португалия, Саудовская Аравия и т. д.).

На Международной книжной ярмарке во Франкфурте в 1967 году книга вошла в число десяти лучших книг.

Ценность книги для специалистов измеряется, разумеется, не внешними данными, а степенью признания входящих в нее тезисов. К тому же следует добавить, что разработанная в этой книге систематизация несущих конструкций в строительстве была положена в основу многих последующих, идущих дальше, учений в качестве руководства. Представленные здесь тезисы и аналитические разработки форм стали в теории и практике если не безоговорочно авторитетными выкладками, то, по крайней мере, предметом непрерывных дискуссий.

Особая методика наглядного представления механических процессов нашла своих последователей в ряду других книг по этой специальности. И не только это: с момента своего появления в 1967 году отдельные части книги, как правило, без указания автора, печатались в других трудах или публиковались в несколько измененной форме. В одном немецком техническом вузе книга была напечатана слово в слово в двух томах и продана студентам: стопроцентно хищническое издание!

В этих условиях не было повода обдумывать переработку издания. Чтобы это тем не менее произошло, должна была иметься причина важная и принципиальная – необходимость включения нового материала по теме **НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ**. Этот материал в форме рабочих заметок для своих студентов и сотрудников бюро автор подготовил, будучи преподавателем вуза и руководителем архитектурного бюро в течение многих лет. Он представил этот материал и широкой общественности.

Новый материал касается, во-первых, попытки каким-либо образом объединить в единое целое теоретические основы несущих конструкций в строительстве, их значение, взаимосвязь с окружающей средой и архитектурой (как процессом и предметом) и представить это в чертежах и диаграммах в отдельной вводной главе: Основы / Систематика.

Во-вторых, наряду с обычными дополнениями и корректурой материала первоначального издания шли переработка и, соответственно, дополнение по следующим темам:

- пневматические системы;
- решетчатые системы;
- высотные строения;
- гибридные системы.

Наконец, для каждого типа несущих конструкций в вводной части главы приводятся ориентиры проекта, которые должны облегчить практическое пользование книгой:

- Определения / Признаки;
- Элементы системы;
- Каталог типов и форм;
- Строительный материал / Величина пролетов.

Из-за этих дополнений увеличился общий объем книги, что привело к сокращению некоторых разделов.

Главная мысль книги: только безусловное знание принципов несущих конструкций может позволить проектировщикам – архитекторам и инженерам – участвовать в процессе создания современной среды.

Автор

1997

## (1) ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ

Положения, которые обосновывают эту работу и оправдывают данные требования, категоричны:

1. Несущая конструкция занимает в архитектуре основополагающую и формообразующую позицию.
2. Инстанцией, отвечающей за архитектуру, ее решение и претворение в жизнь, является архитектор.
3. Архитектор разрабатывает концепцию несущей конструкции своего проекта.

Среди основных предпосылок существования материальных форм, таких как дом, машина, дерево или живое существо, несущая конструкция является важнейшей. Без нее не может быть сохранена материальная форма, а без сохранения формы не может быть реализовано осмысление предмета, заключенного в эту форму. Итак, без материальной (вещественной) несущей конструкции нет действующего комплекса, будь то живое существо или нет.

В архитектуре несущей конструкции придается основополагающее значение:

- Несущая конструкция является основным и высококачественным инструментом для создания формы и пространства. Благодаря этой функции несущая конструкция превращается в основополагающее средство материального оформления среды.
- Несущая конструкция основывается на знании естественно-научных законов. В соответствии с этим среди формообразующих принципов архитектурного планирования несущей конструкции присваивается ранг абсолютного стандарта.

- В отношении строительной формы несущая конструкция обладает неограниченными возможностями интерпретации. Несущая конструкция может быть полностью скрыта строительной формой, а может превратиться в саму строительную форму, т. е. непосредственно в элемент архитектуры.
- Несущая конструкция воплощает в себе стремление проектировщика объединить при формообразовании форму, материю и усилия. Тем самым она представляет эстетическое средство формирования строительного сооружения.

Из этого следует: несущие конструкции в принципе определяют характер строительных сооружений, их возведение, существование, взаимодействие. Концептуальное проектирование несущей конструкции является обязательной составляющей собственно архитектурного проекта. Следовательно, общепринятое разделение процесса проектирования на инженерно-конструкторскую и архитектурную составляющие является необоснованным и находится в противоречии с предметом и идеей архитектуры.

Разграничение архитектурного проекта и проекта несущей конструкции должно быть исключено.

## (2) ПРОБЛЕМА

Выполнению сформулированного здесь требования мешают значительные препятствия. Одно лежит в самой области знаний; другое можно объяснить силой привычки; обе взаимообусловлены.

Во-первых, область знаний «Учение о несущих конструкциях» вследствие гран-

диозности своего объема долгое время была лишена целостного понимания. Восприятие одного только тематического содержания этой области науки и тем самым ее изучение превратилось в проблему, не говоря о доведении до сознания ее творческого применения. Даже специалистам в области несущих конструкций – инженерам-строителям – не удавалось многое по компетентному использованию всех ветвей этой области знаний; еще меньше удавалось тем, кто наряду с этой областью занимался и другими областями знаний, то есть архитекторам.

Использование нормативных основ, будь они содержательные, инструментальные или процессуальные, считается вообще препятствием для творческого развития. Бессознательно недостаток знаний по основным дисциплинам, таким как теория несущих конструкций, узаконивается, а несостоятельность молча возводится в ранг добродетели.

Сюда, наконец, относится и то обстоятельство, что по отношению к значимости проектирования несущих конструкций существует широко распространенное ошибочное мнение, и не только в общественных кругах, но и, что гораздо более непонятно, в кругу специалистов с их уставами в виде учебных планов, профессиональных союзов и т. д. Здесь формулировка идеи несущей конструкции понимается не как интегральная часть создания первоначальной идеи, а как процесс, который *следует* за творческой частью строительного проекта (с точки зрения как содержания и значимости, так и времени).

Итак, проблема имеет две стороны: архитекторы вследствие незнания или нера-

сположения проектируют сооружения с точки зрения поэзии структурных форм. Пренебрежение к дисциплине несущей конструкции в современной архитектуре слишком очевидно. Инженеры в своей ограниченной функции – сделать выполнимой, устойчивой и прочной заданную архитектурную форму – не всегда могут привнести свой творческий потенциал в процесс строительства, будь то проектирование сооружения или работа над новыми несущими конструкциями.

### (3) ОСНОВЫ РЕШЕНИЯ: СИСТЕМАТИКА

Как эти проблемы должны решаться или как, по крайней мере, можно смягчить их воздействие?

Комплексные разделы в науке лучше всего раскрываются посредством систематизации их содержания. Систематизация означает идентификацию, структуризацию и раскрытие содержания по определенному организационному принципу. Этот принцип убедителен, если он вытекает из сущности самого раздела науки и его практического использования.

Организационный принцип для данных исследований обосновывается во вводной части «Основы / Систематика» с помощью четырех последовательных аргументов:

1. Цель архитектуры, как прежде, так и теперь, – это формирование пространства для жизни и деятельности человека; происходит это посредством формообразования материи.
2. Материальная форма подвергается воздействию сил, которые угрожают ее существованию и тем самым подвергают опасности смысл и цель этого существования.

3. Угроза предотвращается, если действующие силы отводятся в направлениях, которые не вредят форме и пространству.

4. Механизм, который это осуществляет, называется несущей конструкцией: отведение сил является каузальностью и сущностью несущей конструкции.

Все вышесказанное является ключом к раскрытию общих принципов существующих и возможных несущих конструкций для творческой деятельности планировщиков, архитекторов, а также инженеров-строителей:

- теория систем несущих конструкций, основанная на их основополагающей функции – отводить силы – наглядно доводит это до сознания через признаки системы:
- механический принцип действия;
- законы формы и пространства;
- формообразующий потенциал.

### (4) РАСКРЫТИЕ ТЕМЫ / СТРУКТУРИЗАЦИЯ

В природе и технике существуют 4 типичных механизма, готовых справиться с нагрузками, т. е. распределить их. Они являются основополагающими; они обладают собственными признаками; они даны человеку в повседневном

#### 1. АДАПТАЦИЯ к силам

Несущие конструкции, которые воспринимают нагрузку, главным образом, через материальную форму:

##### ● АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Системы в обычном напряженном состоянии: сжимающие или растягивающие усилия

общении с силовыми воздействиями и их уравниванием.

#### 2. РАЗЛОЖЕНИЕ сил

Несущие конструкции, которые воспринимают нагрузку, главным образом, через соединение сжатых и растянутых стержней:

##### ● АКТИВНЫЕ ПО ВЕКТОРУ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Системы в напряженном состоянии: одновременно сжимающие и растягивающие усилия

#### 3. ВОСПРЕпятСТВОВАНИЕ СИЛАМ

Несущие конструкции, которые эффективны, главным образом, по поперечному сечению и благодаря непрерывности материи:

##### ● АКТИВНЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Системы в состоянии изгиба: связывающие силы

#### 4. РАССЕЙВАНИЕ СИЛ

Несущие конструкции, которые эффективны, главным образом, благодаря форме поверхности и расширению поверхности.

##### ● АКТИВНЫЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Системы в состоянии поверхностного напряжения: мембранные усилия (растяжение, сжатие, срез)

Здесь относится и пятый механизм. Этот механизм, обусловленный развитием высоты строительного сооружения, во всех четырех упомянутых ранее системах перераспределения сил играл свою роль, но из-за своей особой функции должен считаться самостоятельной несущей системой.



#### 5. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И ЗАЕМЛЕНИЕ СИЛ

Несущие конструкции, которые отводят силы, главным образом, вертикально

##### ● АКТИВНЫЕ ПО ВЫСОТЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Системы без типичного напряженного состояния

Итак, критерием различия систем является основной признак перераспределения сил. Главный признак должен означать, что в каждой несущей системе имеют место и эффективные формы, характерные и для других систем. Если, однако, рассматривать восприятие нагрузок, т. е. преобладающий механизм перераспределения, то каждая несущая конструкция может быть причислена к одному из пяти семейств несущих конструкций.

Это упрощение имеет обоснование. Форма и пространство в строительном сооружении находятся под слабым влиянием несущей конструкции с вторичной функцией отведения сил; преобладают характер и свойства той системы, которая выполняет основную несущую функцию. Поэтому это законно не только при теоретическом освоении учения о несущих конструкциях; при разработке идей несущих конструкций на практике также нельзя обойти вниманием эту вторичную функцию.

С другой стороны, упорно причислять высотные сооружения к самостоятельной категории «активных по форме несущих систем». Поскольку первоочередная задача этой конструкции состоит в передаче нагрузки с высоты на землю, в электротехнике аналогичное явление кратко

называется «заземление» и характеризуется системой концентрации нагрузки, передачи и стабилизации. При этом несущественно, т. к. не важно для оформления, то, что эти системы должны неизбежно использовать механизм изменения направления, который относится к одному или нескольким из четырех, упомянутых выше.

#### (5) ОСОЗНАНИЕ ТЕМЫ/ ОГРАНИЧЕНИЯ

Выбор метода и средств, каким образом лучше всего должна быть раскрыта область учения о несущих конструкциях для использования в архитектурном проектировании и проектировании несущих конструкций, сориентирован на типичные для этой задачи условия:

- ярко выраженный наглядный мир представлений и способ взаимопонимания архитектора и проектировщика;
  - четкое единство сущности несущей системы и ее признаков действия;
  - преимущества изометрии и перспективы для объяснения механических процессов и пространственных ситуаций.
- Теория систем несущих конструкций, основанная на их основополагающей функции, – отводить силы – наглядно доводит это до сознания через признаки системы:
- механический принцип действия;
  - законы формы и пространств;
  - формообразующий потенциал.

Эти обстоятельства являются поводом, причиной и следствием несущей системы – представлять вытекающую из этого структурную форму с помощью чертежно-художественных средств и отказаться в дальнейшем от текстового пояснения.

Это касается даже рассуждений абстрактного характера, передача которых осуществляется здесь с помощью символов, диаграмм и таблиц.

Но выделение существенных моментов требует еще следующего: отбора несущего существенного.

– Математика

Математические расчеты не имеют значения для выработки концепции несущей конструкции.

Они также не нужны для получения представления о комплексном поведении несущих систем или для стимуляции конструктивного духа открытия.

Математика, в смысле простая алгебра, помогает в понимании статичных основополагающих понятий и механических состояний, таких как равновесие, сопротивление, плечо рычага, момент инерции и т. д., однако для выработки концепции несущей конструкции она неприменима. Только если концепция определена по существенным элементам, используется математический анализ удержания нагрузки для проверки системы и ее оптимизации, предварительных расчетов несущих элементов или недостатков в надежности и экономичности.

– Материал

Основной принцип действия несущей системы – исключая конструктивно непригодные строительные материалы – не зависит от материала. Правильно, что в зависимости от свойства нагруженного материала конструкции неизбежным является определение его пригодности



для систем и пролетов, но сами механические процессы, проникновение в эти процессы, равно как и их использование при проектировании, в основном не зависят от строительного материала.

#### – Масштаб

Для понимания механики удерживания нагрузки определенной системой нет необходимости рассматривать абсолютные величины. Процессы достижения состояния равновесия, типичные для отдельной системы, в основном, не зависят от порядка величин, от масштаба.

Все же бесспорным является то, что вопросы масштаба при разработке концепции несущей конструкции играют значительную роль, во всяком случае, более значительную, чем когда они являются частным случаем у других факторов влияния, которые нельзя было учесть. Ибо разработка идеи несущей конструкции предполагает в каждом случае конкретное представление о форме и пространстве и вместе с тем осознание определенного порядка величин пролетов.

На этом основании в переработанное издание вносятся, по обоснованному желанию проектировщика несущих конструкций, обзор области экономических пролетов для каждого типа несущих конструкций во взаимосвязи с определением отдельного вида несущей системы, относительно наиболее распространенных строительных материалов.

Человеческие фигуры, изображенные на различных рисунках, не служат передаче определенного масштаба – они призваны облегчить представление о пространстве и строительном сооружении.

#### – Стабилизация

Стабилизация, в смысле укрепление конструкции, не защищена от боковых и несимметричных нагрузок (ветер, снег, землетрясение, температурные перепады и т. д.) или контроля неустойчивых состояний равновесия, рассматривается только в разделе «Активные по высоте несущие системы» как тематика собственного раздела распределения сил. Прежде всего, это проработка высоты строительного сооружения, которое требует стабилизации. С определенной высоты распределение горизонтальных сил и отведение высотных нагрузок становятся даже формоопределяющими и типобразующими факторами.

При обычных несущих системах отказываются от рассмотрения и представления мероприятий по стабилизации, поскольку они не являются неотъемлемой частью самого несущего механизма. Вообще при обычных высотах сооружения их влияние на основную форму несущей конструкции и в связи с этим на разработку концепции несущей конструкции невелико. Только после обретения идеи во многих случаях становится вообще возможным решение проблемы стабилизации.

### (6) ОСНОВЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Представленные здесь исследования о несущих конструкциях целиком построены по единому принципу их систематизации. Благодаря намеренно «одномерному» освоению области систематизация этого учения раскрывается в критериях, которые для планирования несущей конструкции являются решающими при разработке идеи и концепции:

- механический принцип действия;
- законы формы и пространства;
- оформительский потенциал.

Не обремененный многими практическими, физическими и аналитическими соображениями, но знающий логику механики и вытекающие из нее возможности формообразования, планировщик может положиться на свою интуицию и силу воображения. Такие знания позволяют выйти за границы апробированных конструкций в их многообразии и создать новые, нетрадиционные формы.

Эти формы не представляют **НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ**, которые без дальнейшего тестирования могут быть положены в основу плана проекта, а являются **НЕСУЩИМИ СИСТЕМАМИ**. **НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ** являются примерами и – отсюда – предложениями к проекту: **НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ** – это правила и – отсюда – это **ОСНОВЫ** проекта.

В качестве таковых систем механизмы распределения сил превосходят индивидуальную форму несущей конструкции, спроектированной только для одной цели, и становятся принципами формообразования. В качестве систем они не связаны ни с современным уровнем знаний материалов и конструкций, ни с особенностями местных условий.

Наконец, в качестве систем они являются частью более крупной системы безопасности, которую человек создал для сохранения своего вида, как это, в свою очередь, заложено в той системе, которой точно так же подчинено движение небесных тел и движение атомов.

**ОСНОВЫ/  
СИСТЕМАТИКА**

**0**

## ЗНАЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ: СОХРАНЕНИЕ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА

Материальная среда человека состоит из объектов, отдельных и связанных между собой, живых и неживых, выросших и построенных. В соответствии с этим следует различать природные и технические объекты.

Элементы, из которых состоит отдельный объект, также являются объектами, как и наоборот: объектом считается вышестоящая система, в которой несколько отдельных объектов взаимодействует как единое целое. Это означает, что материальные объекты не подлежат определенной градации по величине. Они являются составной частью как макро-, так и микрокосмоса. Как понятие они охватывают все тела материального окружающего мира, поддающиеся определению.

Все материальные объекты в природе и технике представлены в свойственной им форме. Форма есть характерное расположение в определенном порядке материи объекта в трех измерениях. Она геометрична.

Материальные формы в природе и технике действуют каждая определенным образом; они выполняют функции. Функции при этом могут быть не только механическими и инструментальными, но и биологи-

ческими, семантическими и психологическими. Они могут быть и чисто причинно-следственными субстанциями.

Специфическая функция привязана к специфической форме. Итак, если форма нарушается или разрушается, то это касается в равной степени и функции. Поэтому сохранение формы является предпосылкой подтверждения функции материального мира.

Каждая материальная форма, то есть объект, который представлен формой, подвергается воздействию силы тяжести (вес). Прочие силовые воздействия возникают, с одной стороны, из функции объекта, с другой – из свойств и градаций материи и, наконец, из условий окружающего мира.

Это означает: существование объекта и его формы предполагает, что объект может выдержать эти силы. Оно основывается на его способности переносить различные нагрузки. Конструктивная схема, с помощью которой создается эта способность, и есть несущая конструкция.

Поэтому справедливо утверждение: только благодаря своим несущим конструкциям материальные формы окружающего мира могут оставаться самими собой и при этом выполнять свои функции. Несущие конструкции – это подлинники хранители функций материального мира в природе и технике.

## ДЕЙСТВИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ: НАГРУЗКИ И ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭТИХ НАГРУЗОК

Задача несущих конструкций в природе и технике – не только контролировать собственный вес объекта, но и воспринимать дополнительные нагрузки (силы). Этот процесс называется сопротивлением.

Существенным в процессе сопротивления является не легко предсказываемое действие восприятия нагрузки, а протекающий внутри процесс передачи нагрузки. Без способности распределять и отдавать нагрузку тело не может нести собственный вес и уж тем более посторонние нагрузки.

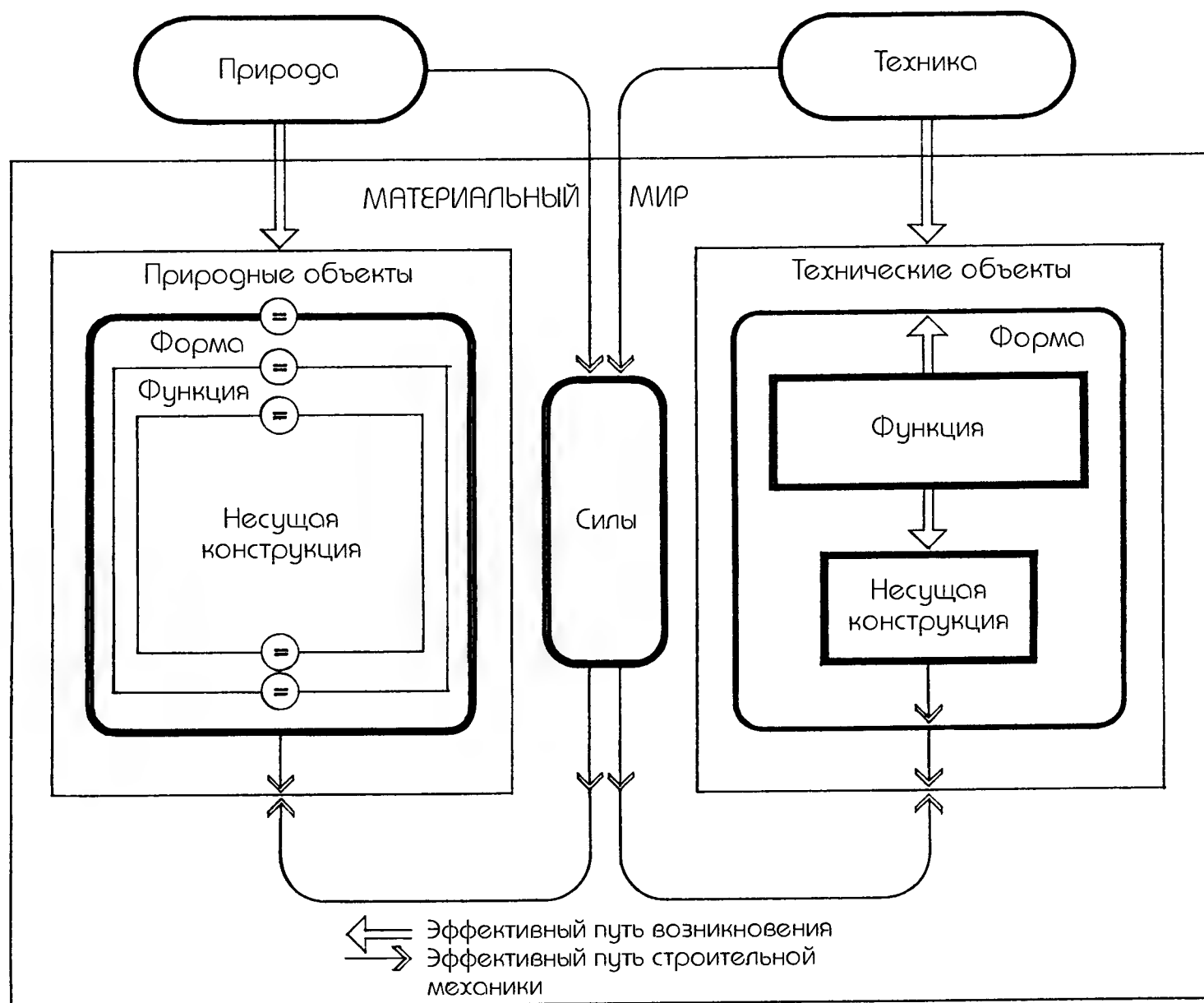
Несущая конструкция работает, таким образом, в трех последовательных фазах:

1. Восприятие нагрузки.
2. Распределение нагрузки.
3. Передача нагрузки.

Этот процесс называется работой конструкции. Он является основополагающей предпосылкой для проектирования несущей конструкции, ее основной идеей. Как путь распределения сил он также является критерием экономичности несущей конструкции.

Движение сил беспрепятственно до тех пор, пока форма объекта соотносится с направлением воздей-

## ЗНАЧЕНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА



Материальный мир состоит из объектов, отдельных и взаимосвязанных, макрокосмических и микрокосмических, живых и неживых, выросших и построенных. В соответствии с их возникновением существует два вида объектов: **ПРИРОДНЫЕ** и **ТЕХНИЧЕСКИЕ**.

Объекты действуют посредством своей **ФОРМЫ**. Поэтому у формы всегда есть функция, т. е. сохранение формы является предпосылкой для продолжения существования функции.

Все объекты подвержены воздействию. Конструктивная схема, которая сохраняет длительность

существования формы объекта при воздействии сил, называется **НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ**. Поэтому считается: несущие конструкции – это структуры для сохранения функций объекта в природной и технической среде человека.

Несущие конструкции в природе и технике различаются не по их механике воздействия, а по их отношению к форме объекта, с одной стороны, и к функции объекта – с другой. В природе, в отличие от техники, несущие конструкции заключены в содержании объекта и не могут поэтому восприниматься как самостоятельные.

ствующих сил. В случае больших нагрузок может быть создана такая ситуация, когда материя напрямую и самым кратчайшим путем связана с землей, точкой передачи нагрузки. Но проблема возникает, если работа конструкции не может проходить напрямую и нужно действовать обходными путями. ствующих сил. В случае больших нагрузок может быть создана такая ситуация, когда материя напрямую и самым кратчайшим путем связана с землей, точкой передачи нагрузки. Но проблема возникает, если работа конструкции не может проходить напрямую и нужно действовать обходными путями.

Это нормальный случай в технике, когда создается форма именно для выполнения определенной функции и именно изначально независимая от природного воздействия, а зачастую даже вопреки ему. Поэтому функциональные формы, возникшие таким образом, изначально не в состоянии контролировать возникающие нагрузки, кроме случая, когда функцией объекта и является как раз регулирование этих нагрузок.

Проектирование несущей конструкции в технике имеет, таким образом, задачу разработки системы восприятия нагрузок, которая соответствует уже заданной функциональной картине или приближается к ней вплотную. Нужно с помощью материала (будь то изменение функциональной формы, усиление формообразования или введение дополнительной конструкции) преобразовать картину внешних воздействий в новую с тем же общим результатом.

Подобная новая картина внешних воздействий создается в меньшей степени изменением величины сил, а в большей – переориентированием направления воздействий в пространстве. Это оказывает влияние на величину возникающих в объекте усилий.

Таким образом, изменение направления сил является предпосылкой для создания новых картин внешних воздействий. Иными словами: передача сил должна распределяться и проводиться по новым каналам. Поэтому отвод сил является принципом регулирования усилий в объекте.

Вывод: знание известных механизмов изменения направления сил является основополагающей предпосылкой для создания новых внешних воздействий. Учение о возможностях отвода сил – это ядро учения о несущих конструкциях и основа систематизации несущих систем.

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ: СВОЙСТВА

Технические несущие конструкции обнаруживают сходства с несущими конструкциями из области природы. Это кажется логичным: человек всегда в своем стремлении преобразовать окружающую среду в качестве образца брал природу. Наука и техника возникли из исследований природы.

Но связь природных и технических несущих конструкций в меньшей степени основывается на локальной близости человека и природы, и в большей – на двух основополагающих соответствиях:

- задача обоих видов несущих конструкций – обеспечить материальные формы возможностью противостоять возникающим силам;
- оба вида несущих конструкций выполняют эту задачу по одним и тем же физическим законам механики.

Выражается это языком механики так: несущие конструкции в природе и технике вызывают перераспределение сил воздействия, чтобы сохранить определенную

форму, которая имеет конкретную связь с функцией. Обе обеспечивают это по двум одинаковым основополагающим принципам: поток усилий и состояние равновесия.

На основе этого казуального и инструментального соответствия несущие конструкции природных объектов являются легитимными сравнительными образами для разработки технических несущих конструкций. Они являются, в первую очередь, источником знаний для взаимосвязи функции, формы и самой несущей конструкции.

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ: РАЗЛИЧИЯ

Существенным основанием для различий обоих видов несущих конструкций – и как материального явления, и как понятия – служит различие их возникновения.

Природа: рост – мутация – расщепление – синтез – эволюция – разрушение

= состоявшиеся самостоятельные (независимые) процессы, постоянные или периодические.

Техника: проект – расчет – конкретизация – производство – разрушение

= состоявшиеся инструментально обязательные отдельные процессы, зависимые друг от друга, замкнутые во времени (т. е. моментальные).

Исконные (первоначальные) различия обоих видов несущих конструкций

– возрастающие из-за разновидности структуры материала, так же оказывающей влияние, – приводят к следующему утверждению: структурные природные формы представляют собой неисчерпаемые наглядные пособия для разработки спосо-

бов действия несущих конструкций и показывают пути их оптимизации.

Несущие конструкции в природе и технике демонстрируют, прежде всего, огромный потенциал формообразования, который лежит в разработке структурных синергетических форм.

Это нормальный случай в технике, когда создается форма именно для выполнения определенной функции и именно изначально независимая от природного воздействия, а зачастую даже вопреки ему. Поэтому функциональные формы, возникшие таким образом, изначально не в состоянии контролировать возникающие нагрузки, кроме случая, когда функцией объекта и является как раз регулирование этих нагрузок.

Проектирование несущей конструкции в технике имеет, таким образом, задачу разработки системы восприятия нагрузок, которая соответствует уже заданной функциональной картине или приближается к ней вплотную. Нужно с помощью материала (будь то изменение функциональной формы, усиление формообразования или введение дополнительной конструкции) преобразовать картину внешних воздействий в новую с тем же общим результатом.

Подобная новая картина внешних воздействий создается в меньшей степени изменением величины сил, а в большей – переориентированием направления воздействий в пространстве. Это оказывает влияние на величину возникающих в объекте усилий.

Таким образом, изменение направления сил является предпосылкой для создания новых картин внешних воздействий. Иными словами: передача сил должна распределяться и проводиться по новым каналам. Поэтому отвод сил является принципом регулирования усилий в объекте.

Вывод: знание известных механизмов изменения направления сил является основополагающей предпосылкой для создания новых внешних воздействий. Учение о возможностях отвода сил – это ядро учения о несущих конструкциях и основа систематизации несущих систем.

### ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ: СВОЙСТВА

Технические несущие конструкции обнаруживают сходства с несущими конструкциями из области природы. Это кажется логичным: человек всегда в своем стремлении преобразовать окружающую среду в качестве образца брал природу. Наука и техника возникли из исследований природы.

Но связь природных и технических несущих конструкций в меньшей степени основывается на локальной близости человека и природы, и в большей – на двух основополагающих соответствиях:

- задача обоих видов несущих конструкций – обеспечить материальные формы возможностью противостоять возникающим силам;
- оба вида несущих конструкций выполняют эту задачу по одним и тем же физическим законам механики.

Выражается это языком механики так: несущие конструкции в природе и технике вызывают перераспределение сил воздействия, чтобы сохранить определенную форму, которая имеет конкретную связь с функцией. Обе обеспечивают это по двум одинаковым основополагающим принципам: поток усилий и состояние равновесия.

На основе этого казуального и инструментального соответствия несущие конструкции природных

объектов являются легитимными сравнительными образами для разработки технических несущих конструкций. Они являются, в первую очередь, источником знаний для взаимосвязи функции, формы и самой несущей конструкции.

### ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ: РАЗЛИЧИЯ

Существенным основанием для различий обоих видов несущих конструкций – и как материального явления, и как понятия – служит различие их возникновения.

Природа: рост – мутация – расщепление – синтез – эволюция – разрушение

= состоявшиеся самостоятельные (независимые) процессы, постоянные или периодические.

Техника: проект – расчет – конкретизация – производство – разрушение

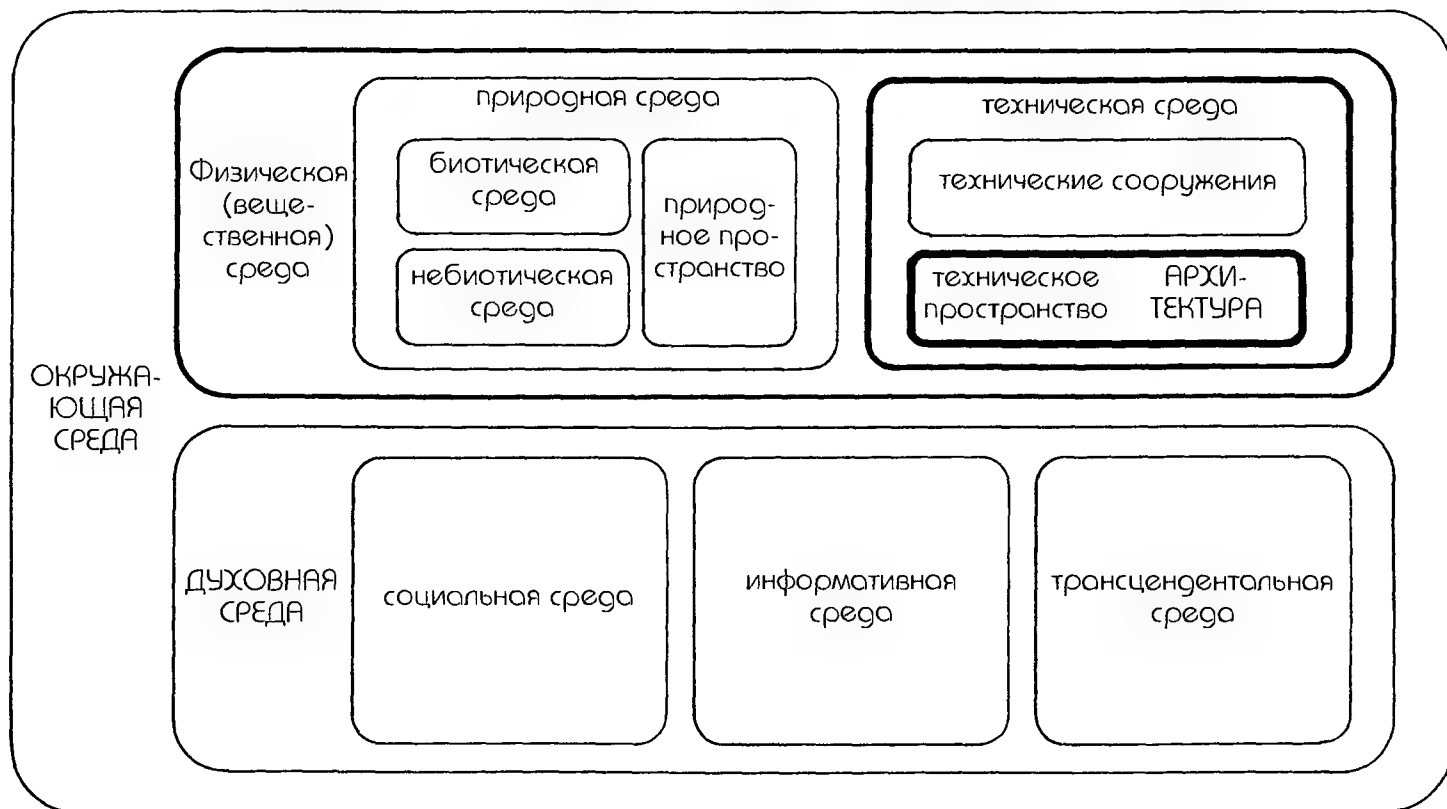
= состоявшиеся инструментально обязательные отдельные процессы, зависимые друг от друга, замкнутые во времени (т. е. моментальные).

Исконные (первоначальные) различия обоих видов несущих конструкций

– возрастающие из-за разновидности структуры материала, так же оказывающей влияние, – приводят к следующему утверждению: структурные природные формы представляют собой неисчерпаемые наглядные пособия для разработки способов действия несущих конструкций и показывают пути их оптимизации.

Несущие конструкции в природе и технике демонстрируют, прежде всего, огромный потенциал формообразования, который лежит в разработке структурных синергетических форм.

## ЗНАЧЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ КАК ЧАСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



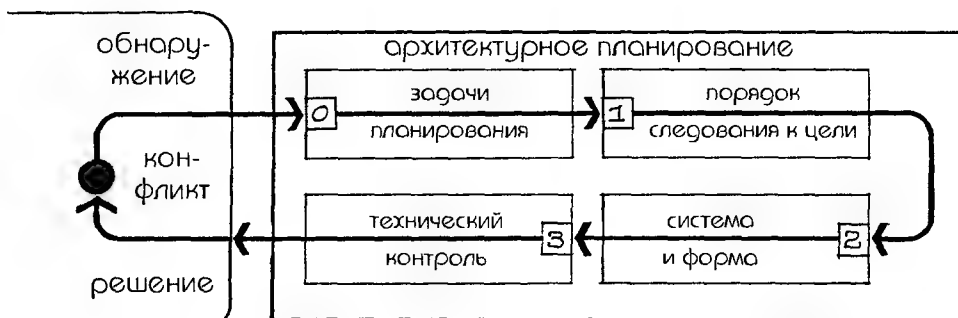
### определение «Архитектура»

Архитектура – это ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО физической (вещественной) среды. «Техническое» означает при этом «сформированное человеком», т. е. «не возникшее само по себе».



козуальность планирования в архитектуре

Обнаружение конфликта между человеком и окружающей средой является вообще первопричиной составления плана. Для области архитектуры такой конфликт существует, если созданная окружающая среда, «техническое пространство» не удовлетворяет, или удовлетворяет не полностью определенным потребностям человека.

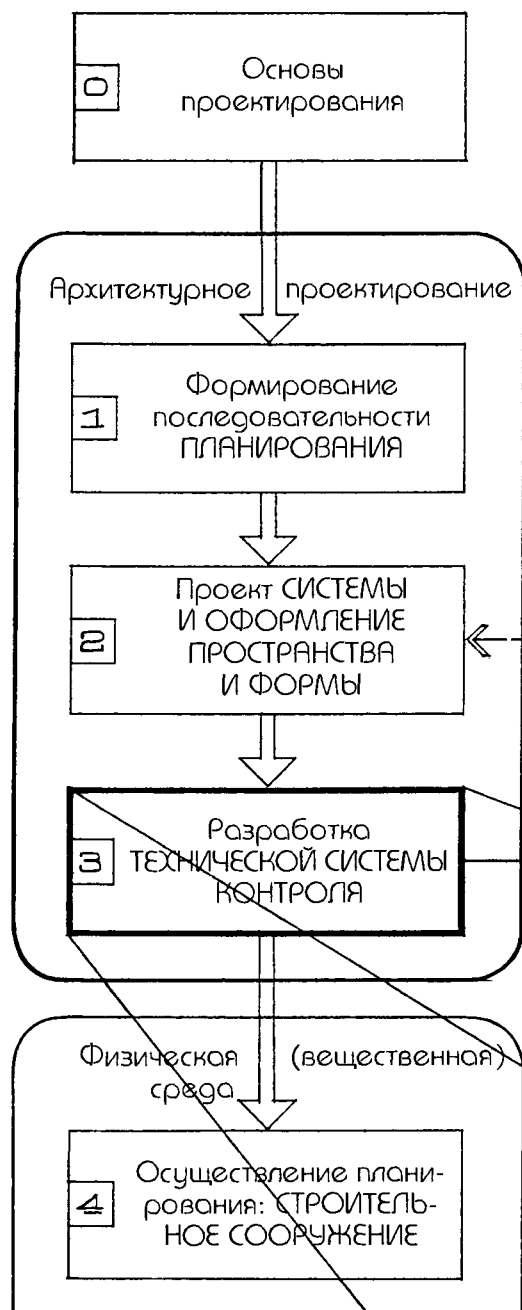


ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

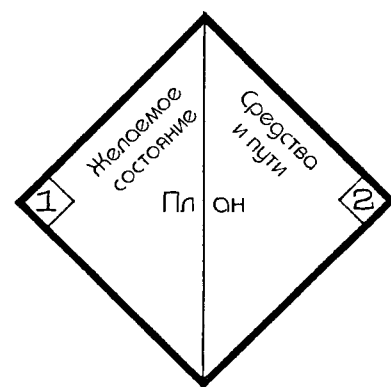
Проектирование начинается через идентификацию задач ПЛАНИРОВАНИЯ. Оно состоит из трех основных последовательных фаз.

1. Формирование последовательности достижения цели.
2. Проект СИСТЕМЫ И ФОРМЫ / ОФОРМЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА.
3. Разработка ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ.

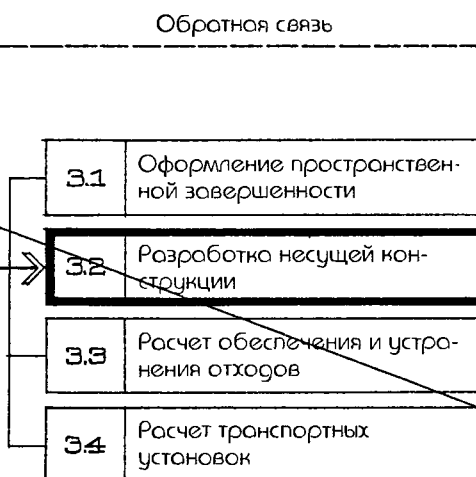
Ход процесса проектирования в строительстве



ПЛАНИРОВАНИЕ / ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
Общее планирование =  
Разработка представления с двойным содержанием  
1. Изображение заданного нового или измененного состояния  
2. Обоснование средств и путей создания этого состояния



ПОЗИЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ  
В ПРОЦЕССЕ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Проектирование несущей конструкции в линейном процессе архитектурного планирования может происходить, как правило, только после завершения оформления пространства и формы.

Через обратную связь гарантируется, что импульсы оформления несущей конструкции полностью войдут в фазу оформления пространства и формы.





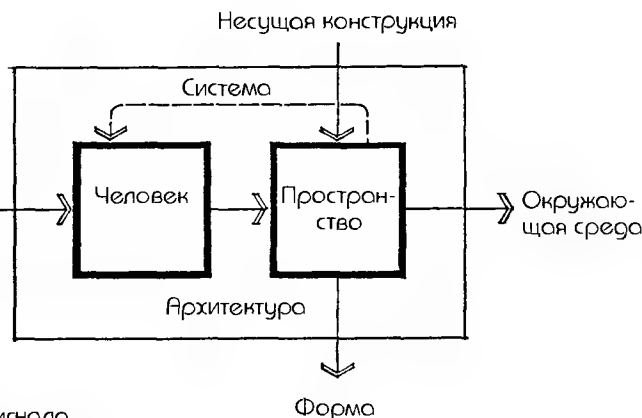
## ФУНКЦИЯ И ЗНАЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Несущая конструкция и система

Несущие конструкции в природе и технике служат сохранению вещественных форм. Сохранение формы является предпосылкой для целевого заполнения системы: механизмы, дом, дерево, человек.  
+ без несущей конструкции нет системы

Окружающая среда

Поток сигнала = путь воздействия



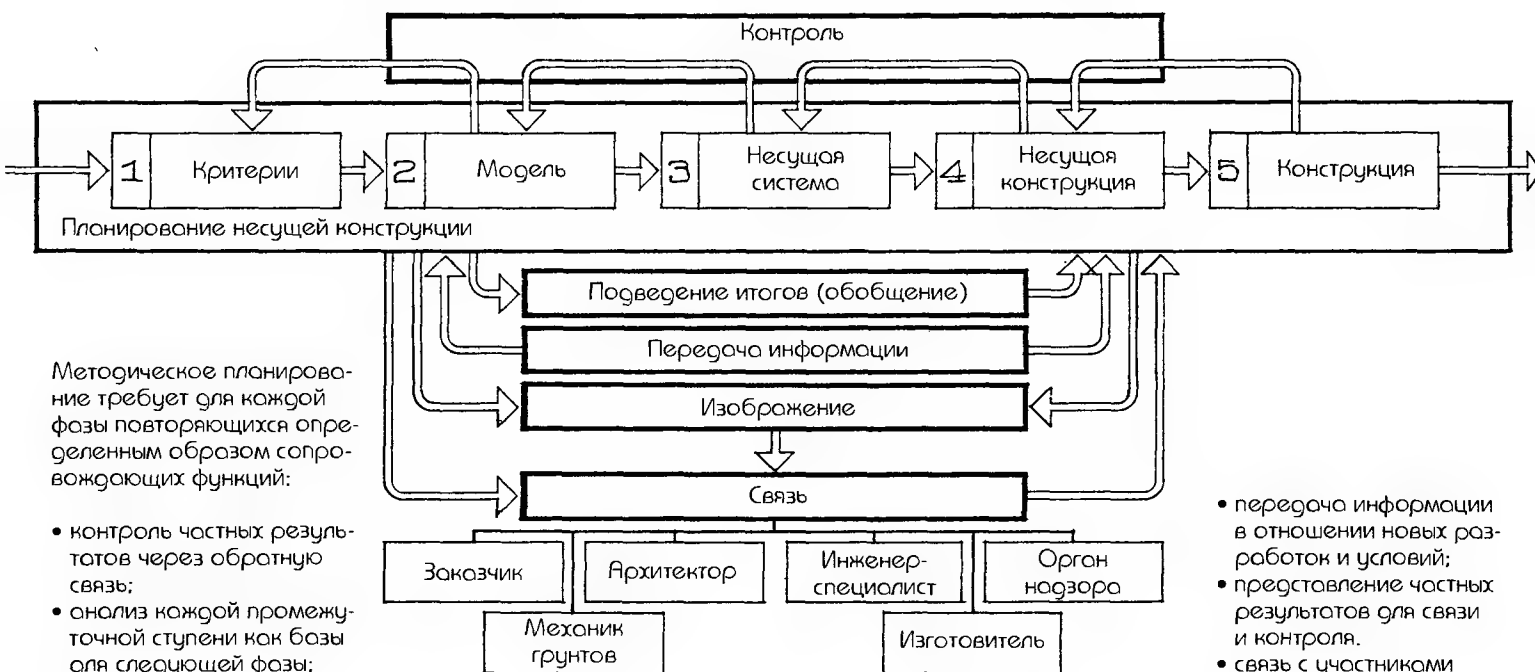
Несущая конструкция и строительное сооружение

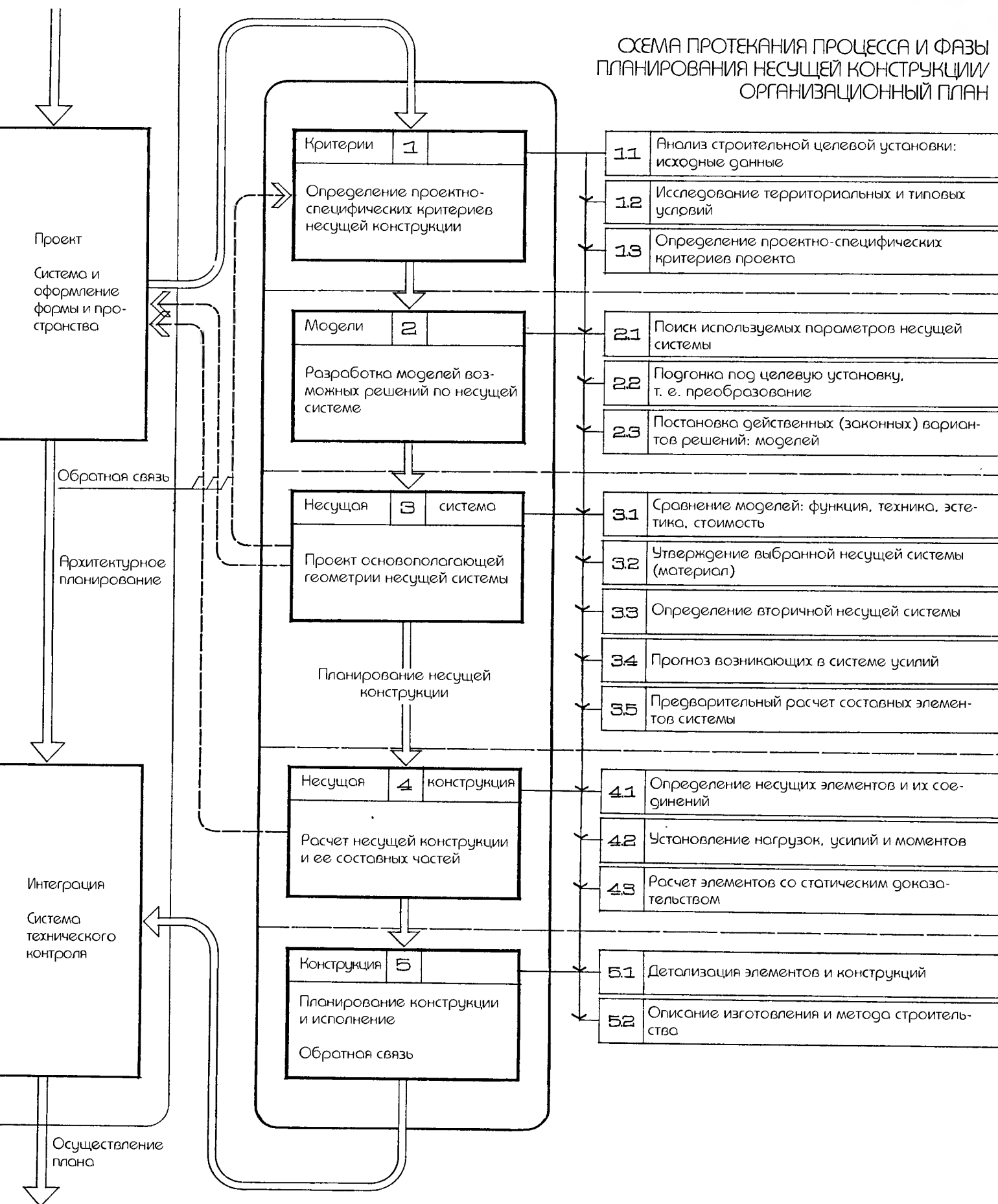
Функция социо-технической системы «строительное сооружение» основана на существовании определенного пространства. Пространство определяется его завершенностью. Первоосновой завершенности пространства является несущая конструкция.  
+ без несущей конструкции нет строительного сооружения

## ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ / СРАВНЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ

|   |  |                            | Амброзе                                | Бютнер / Хампе                    | НОАИ (порядок выплаты гонораров) |
|---|--|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 |  | Критерии определения       | Постановка программы                   | Уточнение задач                   | Разъяснение задачи               |
| 2 |  | Разработка модели          | Планирование (тип несущей конструкции) | Разработка принципиальных решений | Проработка концепции             |
| 3 |  | Проект несущей конструкции | Статический расчет                     | Конкретизация проекта             | План проекта                     |
| 4 |  | Расчет несущей конструкции | Окончательный расчет                   | Аналитическая оценка              | Статический расчет               |
| 5 |  | Планирование конструкции   | Детальное планирование конструкции     | Определение несущей структуры     | Порядок выполнения               |

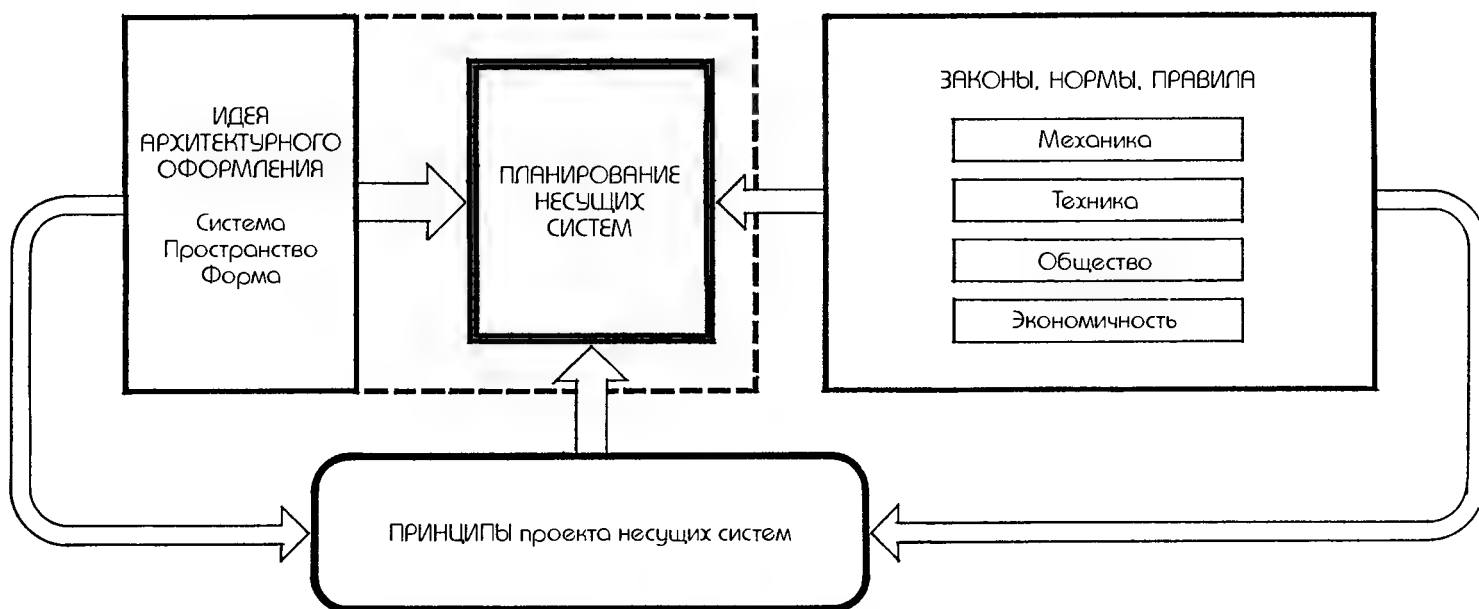
## ОЧЕРЕДНОСТЬ ФУНКЦИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПРОЦЕСС ПЛАНИРОВАНИЯ





## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

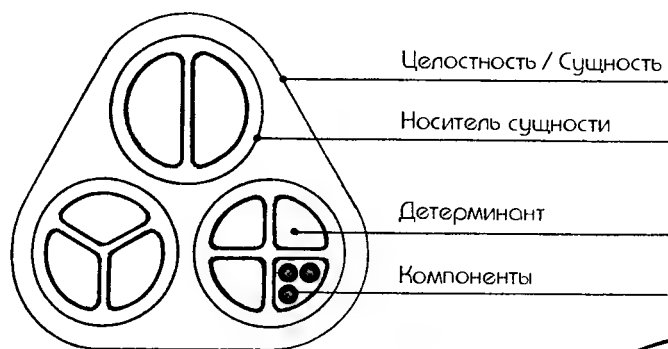
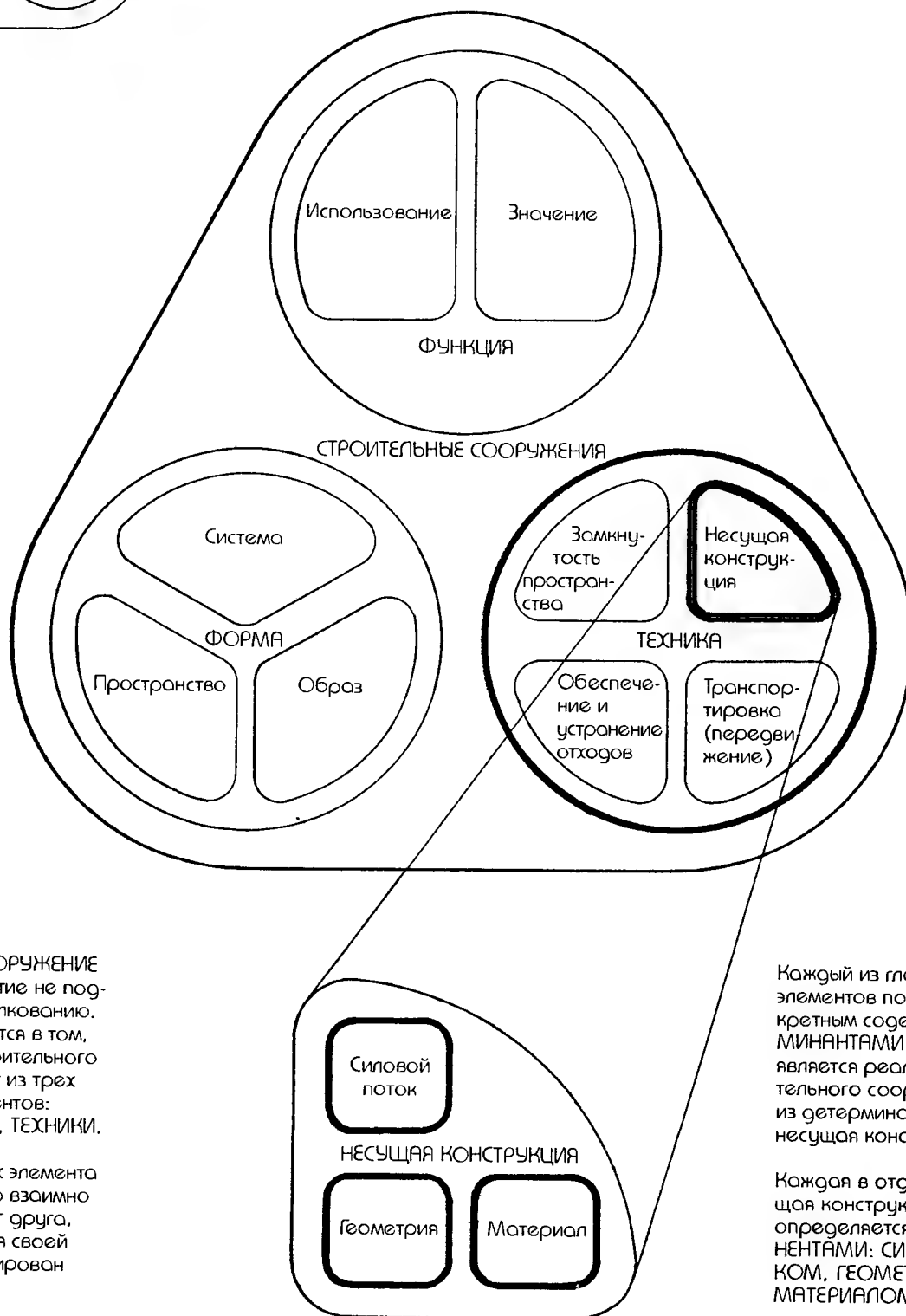
Связь главных детерминантов в процессе планирования



Определив из связи основных значений систему, форму и функцию несущей конструкции, можно вывести общепринятые принципы проекта несущих систем

Принципы проектирования: критерии качества несущих систем

|                        |    |                                                                                                             |
|------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Принципы ОФОРМЛЕНИЯ    | 1  | Созвучие с вышестоящими идеями архитектурного проектирования и пригодность для их профилирования            |
|                        | 2  | Соответствие в ансамбле формообразующих изобразительных сил                                                 |
|                        | 3  | Оптимизация, или преобразующий потенциал, для выражения строительного элемента                              |
| СТАТИЧЕСКИЕ принципы   | 4  | Трехмерная реальность поведения несущей конструкции и формообразование несущей конструкции                  |
|                        | 5  | Прямолинейность и логика потока нагрузок от момента восприятия нагрузок до момента отведения                |
|                        | 6  | Идентификация системы для стабилизации от горизонтальных и асимметричных приложений нагрузки                |
|                        | 7  | Преимущество статически неопределенных систем (в противоположность статически определенным системам)        |
| ЭКОНОМИЧЕСКИЕ принципы | 8  | Систематичность деления несущей конструкции и симметрия отдельных функций несущей конструкции               |
|                        | 9  | Уровновешивание нагрузки отдельными элементами несущей конструкции с одинаковыми или родственными функциями |
|                        | 10 | Загрузка отдельных несущих элементов двумя или несколькими несущими функциями                               |

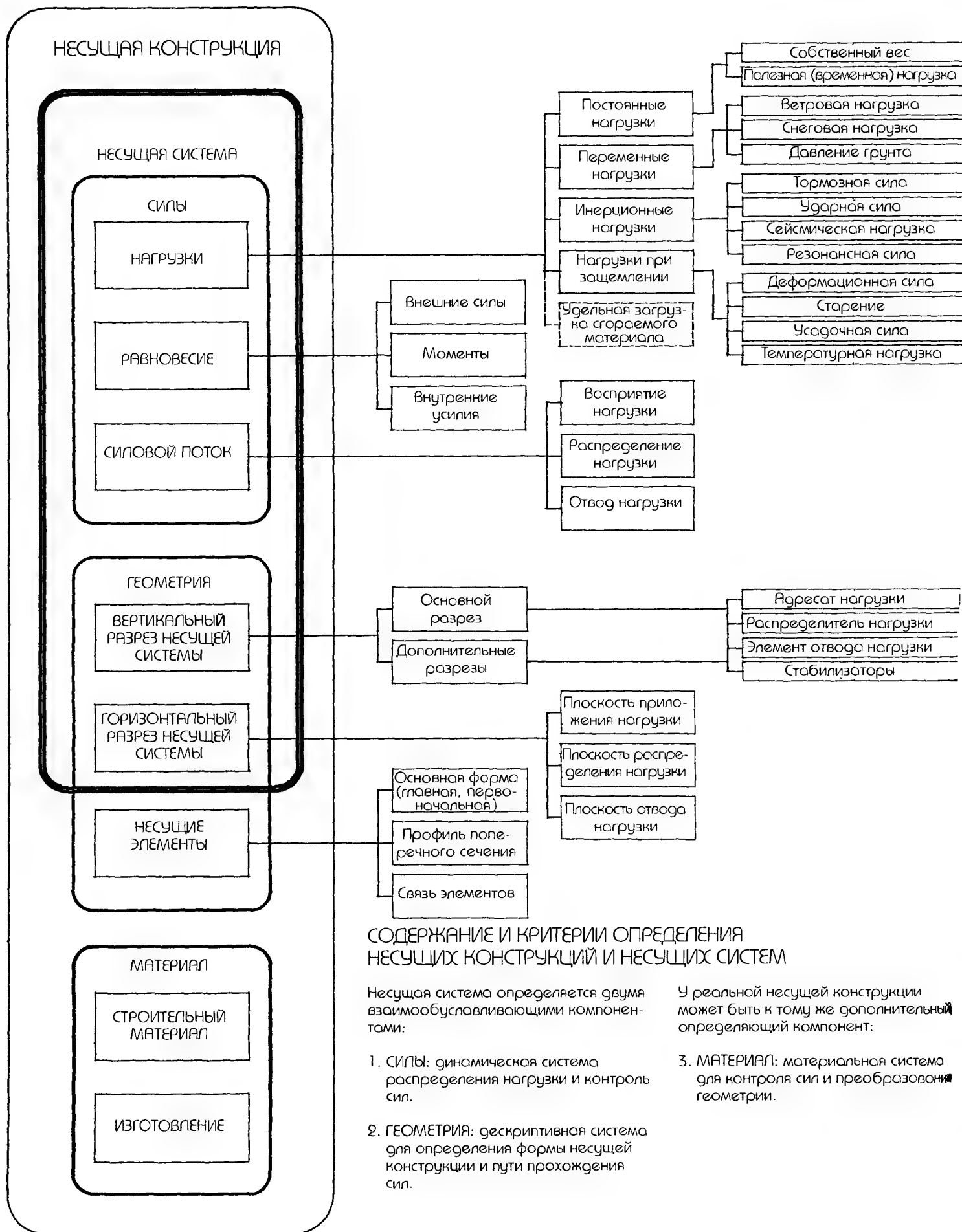
СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ СВЯЗЬ СТРОИТЕЛЬНОГО  
СООРУЖЕНИЯ И НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

СТРОИТЕЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ как целостное понятие не поддается простому толкованию. Причина этого кроется в том, что реальность строительного сооружения состоит из трех существенных элементов: ФУНКЦИИ, ФОРМЫ, ТЕХНИКИ.

Три главных несущих элемента отмежевываются, но взаимно обуславливают друг друга, при этом каждый для своей реализации ориентирован на два других.

Каждый из главных несущих элементов помогает себе конкретным содержанием: ДЕТЕРМИНАНТАМИ. Их единство и является реальностью строительного сооружения. Одним из детерминантов и является несущая конструкция.

Каждая в отдельности несущая конструкция, бесспорно, определяется ТРЕМЯ КОМПОНЕНТАМИ: СИЛОВЫМ ПОТОКОМ, ГЕОМЕТРИЕЙ И МАТЕРИАЛОМ.



## МНОГООБРАЗИЕ СИЛ В НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ / ОБОЗНАЧЕНИЯ

|   |                        |                                 |                                      |                                    |                                    |                                            |                        |                  |                     |
|---|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| 1 | ВИДЫ                   | Внешние силы<br>                | Внутренние силы = усилия<br>         | Усилия в сечениях<br>              | Действующие силы<br>               | Реакция<br>                                | Силы сопротивления<br> | Сила тяжести<br> |                     |
| 2 | НАГРУЗКА               | Сжимающие силы<br>              | Растягивающие силы<br>               | Сдвигающие силы<br>                | Срезающие силы<br>                 | Кручение<br>                               | Изгибающие силы<br>    | Силы трения<br>  | Мембранные силы<br> |
| 3 | НАПРАВЛЕНИЕ            | Горизонтальные силы<br>         | Вертикальные силы<br>                | Наклонные силы<br>                 | Поперечные силы<br>                | Нормальные (продольные) силы<br>           |                        |                  |                     |
| 4 | РАСПРЕДЕЛЕНИЕ          | Сосредоточенные силы<br>        | Распределенные по длине силы<br>     | Распределенные по площади силы<br> | Объемные силы<br>                  |                                            |                        |                  |                     |
| 5 | ВОЗДЕЙСТВИЕ ВО ВРЕМЕНИ | Статические силы                | Постоянные нагрузки                  | Временные нагрузки                 | Динамические нагрузки              | Кинетические силы                          | Резонансные силы       |                  |                     |
| 6 | НЕСУЩИЙ ЭЛЕМЕНТ        | Усилия в стержнях<br>           | Усилия в нити<br>                    | Воздействие на опоры<br>           | Опорные реакции<br>                | Силы в арке<br>                            | Анкерные силы<br>      | Прочие<br>       |                     |
| 7 | ГЕОМЕТРИЯ              | Силы кольцевого направления<br> | Силы меридионального направления<br> | Силы в замке купола<br>            | Силы по опорному кольцу купола<br> | Силы по кольцу радиального направления<br> | Прочие<br>             |                  |                     |
| 8 | ПРИЧИНА                | Собственный вес                 | Временная нагрузка                   | Снеговая нагрузка                  | Ветровая нагрузка                  | Гидростатическое давление                  | Инерционные силы       | Силы воздействия |                     |

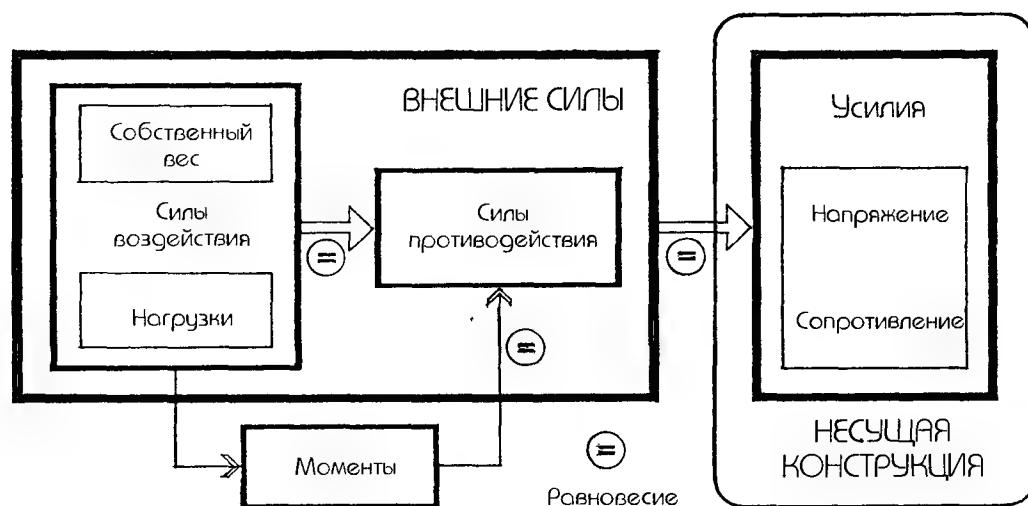
Несущие конструкции — это аппараты ограничения и управления силами. Эти силы определяются четырьмя типичными для каждого строительного сооружения условиями:

1. Вес строительного сооружения и его полезная нагрузка.
2. Вид использования (воздействие нагрузки) строительного сооружения.
3. Артикуляция строительного материала.

4. Воздействие и свойства места и окружающей территории.

Два представления о строительной механике управляют проектом несущей конструкции:

- + «ПОТОК» сил проходит через несущую конструкцию и передается на землю.
- + Силы ВОЗДЕЙСТВИЯ и ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ остаются в равновесии, они СТАТИЧНЫ.



## ПРЕДПОСЫЛКА К ИЗУЧЕНИЮ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Основной темой при разработке и расчете несущих конструкций являются

## СИЛЫ В СОСТОЯНИИ РАВНОВЕСИЯ

Несущая конструкция должна проектироваться так, чтобы она могла противостоять действующим силам, т. е. мобилизовать силы противодействия, которые гарантируют равновесие.

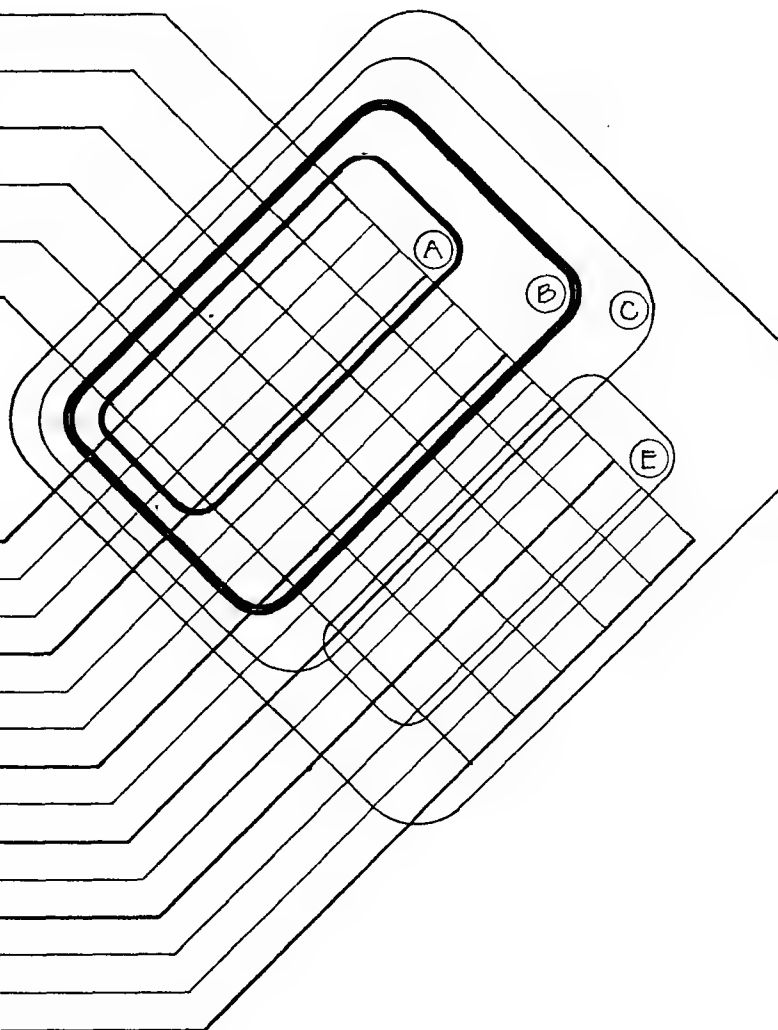
## Важные понятия о принципе действия несущей конструкции

|  |                                                                                                                                                                 |                                                                                           |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | СИЛА – это величина, которая способна придать телу способность двигаться или изменять свое состояние.                                                           | Сила = масса × ускорение<br>$F = m \times a$<br>N/kN                                      |
|  | НАГРУЗКИ – это силы, действующие на тело извне, за исключением реакции ног опорами тела.                                                                        | Нагрузка = действующая сила<br>$L = F_a = m \times a$<br>N/kN                             |
|  | СИЛА ТЯЖЕСТИ – это сила, с которой масса Земли притягивает тело.                                                                                                | Сила тяжести = масса × сила притяжения Земли<br>$G = m \times 9,81 \text{ m/s}^2$<br>N/kN |
|  | МОМЕНТ – это усилие, которое вызывает пару сил или которое оказывает силовое воздействие на тело, точка вращения которого не лежит в направлении действия силы. | Момент = сила × плечо рычага<br>$M = F \times l$<br>(kN) Nm                               |
|  | НАПРЯЖЕНИЕ – это внутренняя сила (сила сопротивления) на единицу площади, которая возникает в теле благодаря воздействию внешней силы.                          | Напряжение = сила ÷ площадь<br>$\sigma = F \div A$<br>(kN) N/ cm²                         |
|  | СОПРОТИВЛЕНИЕ – это сила, с которой тело сопротивляется движению или деформации, вызванным внешней силой воздействия.                                           | Сопротивление = противодействие (сила реакции)<br>$R = F_a = m \times a$<br>N/kN          |
|  | РАВНОВЕСИЕ – это состояние, при котором сумма сил, действующих на тело, не приводит в движение, она равна нулю.                                                 | Сумма сил и моментов = 0<br>$\Sigma F + M = 0$                                            |

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1 | Системы, активные по ФОРМЕ       |
| 2 | Системы, активные по ВЕКТОРУ     |
| 3 | Системы, активные по СЕЧЕНИЮ     |
| 4 | Системы, активные по ПОВЕРХНОСТИ |
| 5 | Системы, активные по ВЫСОТЕ      |

НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ:  
ТЕМЫ, ОТНОШЕНИЯ, ГРАДАЦИЯ

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| ГЕОМЕТРИЯ   | пространственный объем |
|             | замыкание пространства |
|             | основная форма         |
| МЕХАНИКА    | нагрузки               |
|             | равновесие             |
|             | поток нагрузок         |
| МАТЕРИАЛ    | строительный материал  |
|             | строительная химия     |
| СТАТИКА     | несущие элементы       |
|             | несущие звенья         |
| КОНСТРУКЦИЯ | соединение элементов   |
|             | строительная физика    |
|             | методы строительства   |



УРОВНИ ПОНЯТИЙ О НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- А** Несущая структура 1 = характерный вид формообразующей и формосохраняющей субстанции строительного сооружения  
= определенная геометрия материализации архитектурного представления о форме и пространстве
- Б** Несущая система = схема воздействия и упорядоченности отвода и сил в строительной конструкции  
= основополагающая геометрия механики сил равновесия внутри строительного сооружения
- В** Несущая конструкция = совокупность элементов строительного сооружения, которые выполняют несущую функцию  
= конкретная несущая система (соотв. несущая структура)
- Г** Несущая конструкция = существующий носитель строительного сооружения, который гарантирует ему сохранение формы и функциональность
- Д** Несущая конструкция = технологическая сущность несущей конструкции как самостоятельного инженерного строительного сооружения  
= техническая структура контроля сил, воздействующих на строительное сооружение как комплекс отдельных элементов и как целостный механизм
- Е** Несущая структура 2 = внутреннее деление несущей конструкции  
= пример упорядочения взаимодействия отдельных несущих элементов строительного сооружения



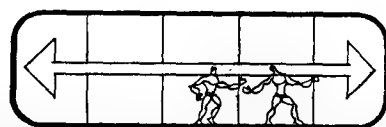
## ПРИЧИННОСТЬ И ФУНКЦИЯ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

как основа

систематической классификации и формообразующего порядка несущей системы

Основы

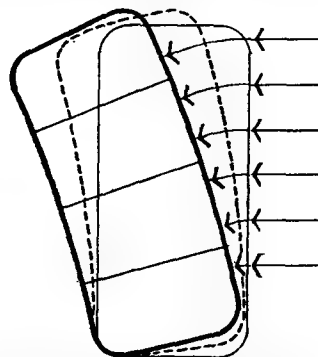
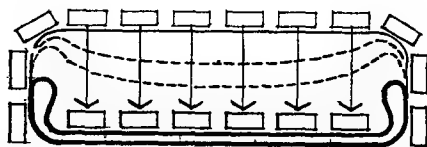
Деятельность людей осуществляется, в основном, на горизонтальной плоскости и требует для закрытого пространства в первую очередь горизонтального расширения.



Деятельность людей требует пространственной высоты не только для свободы перемещения, но и в особой мере для увеличения полезных горизонтальных площадей на земле.

Проблема

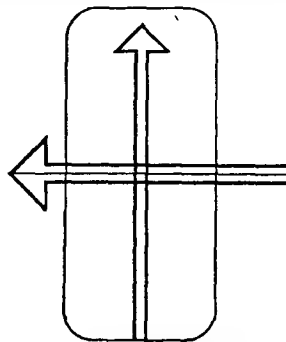
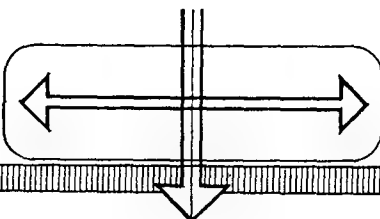
Вследствие земного притяжения субстанция пространственной оболочки развивает с помощью каждого отдельного элемента вертикальную динамику, которая стремится аннулировать пространственный объем.



Развитие в высоту подвергает пространственную оболочку горизонтальной динамике вследствие растущей ветровой нагрузки, которая стремится изменить геометрию пространственного объема.

Конфликт

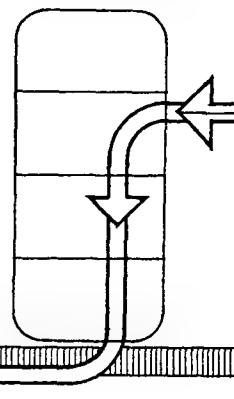
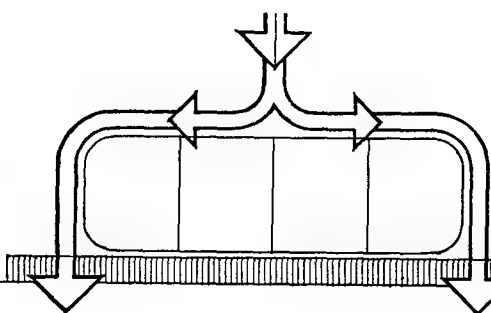
Конфликт обоих направлений, силы тяжести и динамики человеческой деятельности, является первопричиной необходимости несущих конструкций в строительстве.



Конфликт обоих направлений, силы ветра и пространственного развития в высоту, является второй причиной необходимости несущих конструкций в строительстве.

Функция

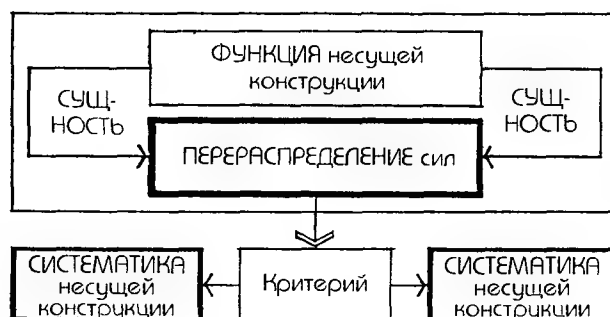
Благодаря несущим конструкциям действующие силы тяжести переориентируются в горизонтальное направление и отводятся на грунт.



Несущие конструкции переориентируют возникающие ветровые нагрузки в вертикальные направления и отводят их по потребности на грунт.

## ОСНОВНАЯ МЫСЛЬ И КРИТЕРИЙ СИСТЕМАТИЗАЦИИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Комплексные специализированные области можно сделать наиболее понятными через систематизацию их содержания: СИСТЕМАТИКА



Систематика специализированной области убедительна, если она является ПРОИЗВОДНОЙ ОТ ОСНОВНОГО ВОПРОСА

Сущность несущей конструкции – это ее функция: ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ

## СИСТЕМАТИКА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

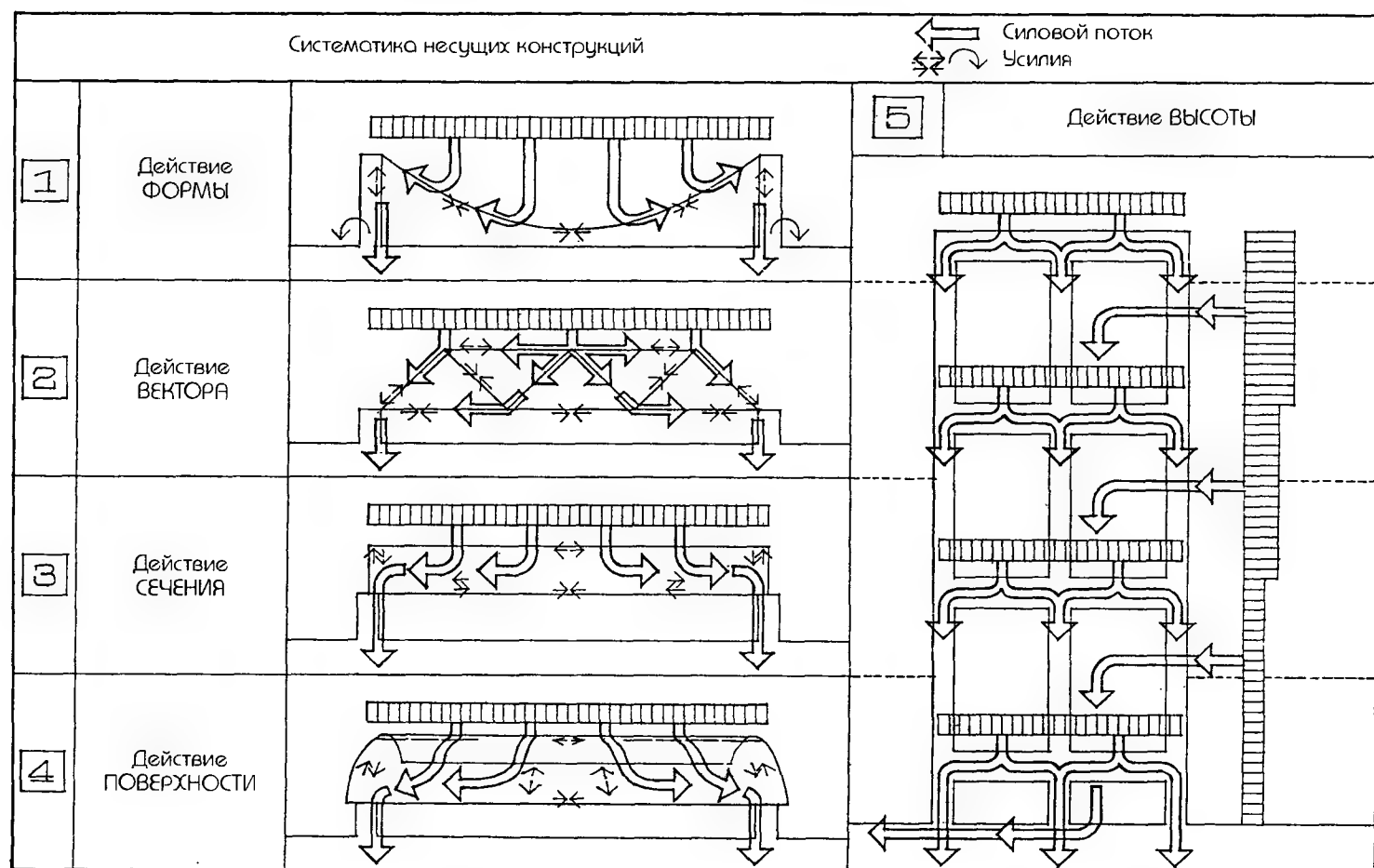
Для перераспределения приложенных сил через материю в природе и технике существуют 4 типичных механизма:

1. Подгонка под силы → действие ФОРМЫ;
2. Разложение сил → действие ВЕКТОРА;
3. Блокировка сил → действие ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ;

4. Рассеивание сил → действие ПОВЕРХНОСТИ.

В строительстве в качестве атипичного механизма добавляется пятый:

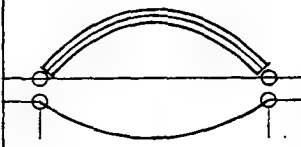
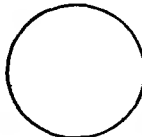
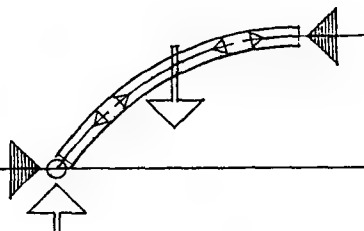
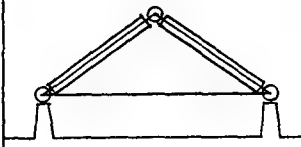
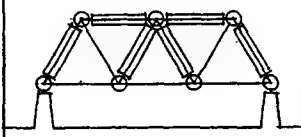
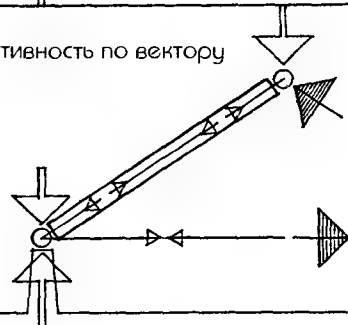
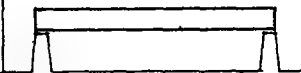
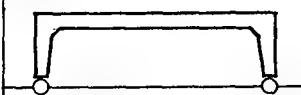
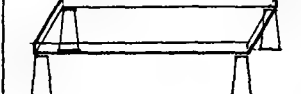
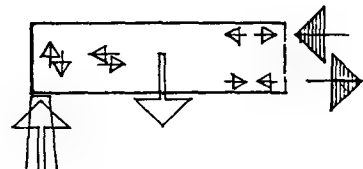
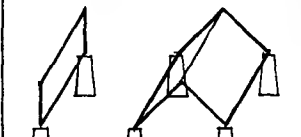
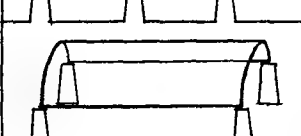
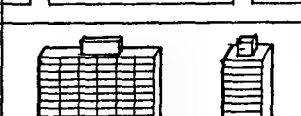
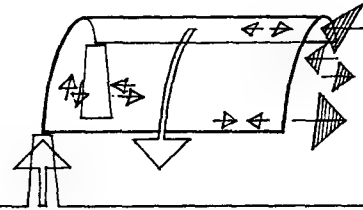
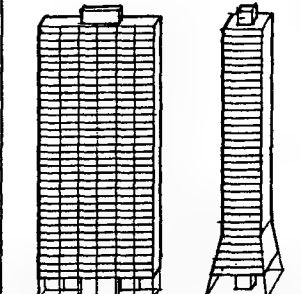
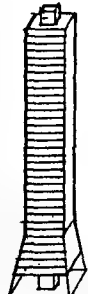
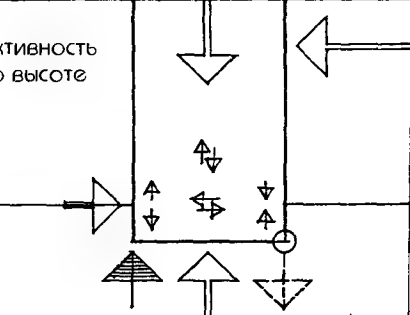
5. Концентрация и заземление нагрузки → действие ВЫСОТЫ



Освоение учения о несущих конструкциях и творческое использование его языка формы и пространства в архитектурном планировании является поэтому предпосылкой к:

- познанию механизмов, которые переориентируют силы;
- познанию действенной геометрии несущих конструкций для создания формы и пространства.

## КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

| критерий                   | прототип                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | силы                          | признак                                       | механика изменения направления сил                                                                                 |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>ФОРМА                 |  <p>опорная арка<br/>струна для подвески</p>  <p>кольцо<br/>сфера</p>                                                                                                                 | сжатие<br>или<br>растяжение   | кривая<br>давления<br>цепная<br>линия<br>круг | активность по форме<br>         |
| 2<br>ВЕКТОР                |  <p>треугольная<br/>стропильная<br/>ферма</p>  <p>решетчатая<br/>ферма</p>                                                                                                           | сжатие<br>и<br>растяжение     | треугольные<br>соединения                     | активность по вектору<br>      |
| 3<br>ПОПЕРЕЧНОЕ<br>СЕЧЕНИЕ |  <p>балка</p>  <p>рама</p>  <p>панель</p>                                                      | изгиб<br>срезающие<br>силы    | профиль<br>поперечного<br>сечения             | активность по сечению<br>     |
| 4<br>ПОВЕРХНОСТЬ           |  <p>пластина</p>  <p>складчатая<br/>панель</p>  <p>цилиндриче-<br/>ский свод-<br/>оболочка</p> | мембран-<br>ные силы          | формо<br>поверхности                          | активность по поверхности<br> |
| 5<br>ВЫСОТА                |  <p>пластина</p>  <p>башня</p>                                                                                                                                                    | (комплекс-<br>ные<br>условия) | зоземление<br>нагрузки<br>стабильза-<br>ция   | активность<br>по высоте<br>   |

## КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

| Семейство несущих конструкций |                                         | Определение                                                                                                                                                                                                                                                          | Тип несущей конструкции |                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| 1                             | АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ несущие системы       | ...это системы из гибкой, не жесткой материи, в которых изменение направления сил происходит благодаря приданию им подходящей ФОРМЫ и стабилизации характерной ФОРМЫ.                                                                                                | 1.1                     | ВАНТОВАЯ несущая конструкция             |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.2                     | ТЕНТОВАЯ несущая конструкция             |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.3                     | ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ несущая конструкция       |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.4                     | АРОЧНАЯ несущая конструкция              |
| 2                             | АКТИВНЫЕ ПО ВЕКТОРУ несущие системы     | ...это системы из коротких, жестких, прямых линейных элементов (стержней), в которых изменение направления сил происходит посредством нужного векторного деления, т.е. деление на большое количество элементов в направлении отдельной силы (сжатие или растяжение). | 2.1                     | плоская решетчатая ферма                 |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2.2                     | переносной плоский каркас                |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2.3                     | изогнутый каркас                         |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2.4                     | пространственный каркас                  |
| 3                             | АКТИВНЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ несущие системы     | ...это системы из жестких, массивных линейных элементов, включая их уплотнение в виде панели, в которых изменение направления сил происходит за счет мобилизации срезающих сил.                                                                                      | 3.1                     | БАЛОЧНАЯ несущая конструкция             |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3.2                     | РАМНАЯ несущая конструкция               |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3.3                     | ПЕРЕКРЕСТНО-БАЛОЧНАЯ несущая конструкция |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3.4                     | ПАНЕЛЬНАЯ несущая конструкция            |
| 4                             | АКТИВНЫЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ несущие системы | ...это системы из деформативных на изгиб, но жестких на сжатие, растяжение и срез поверхностей, в которых изменение направления сил происходит благодаря сопротивлению ПОВЕРХНОСТИ и нужной формы ПОВЕРХНОСТИ.                                                       | 4.1                     | ПЛАСТИНЧАТАЯ несущая конструкция         |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.2                     | СКЛАДЧАТАЯ система                       |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.3                     | ОБОЛОЧКОВАЯ несущая конструкция          |
| 5                             | АКТИВНЫЕ ПО ВЫСОТЕ несущие системы      | ...это системы, в которых изменения направления сил, определяемых высотой, т.е. аккумуляцией и заземлением поэтажной и ветровой нагрузок, происходят с помощью нужной высоты – безопасной несущей конструкции – ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.                                 | 5.1                     | РАСТРОВОЕ высотное сооружение            |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5.2                     | высотное сооружение с ОБОЛОЧКОЙ          |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5.3                     | СТВОЛЬНОЕ высотное сооружение            |
|                               |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5.4                     | ПРОЛЕТНОЕ высотное строение              |

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

| Градация  |                               | Основной принцип                                      | Примеры                                     |                              |                                               |                                          |                                              |                               |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Уровень 1 | СЕМЕЙСТВО несущих конструкций | механизм изменения направления сил                    | напр. Активные ПО ФОРМЕ несущие конструкции |                              | напр. Активные ПО СЕЧЕНИЮ несущие конструкции |                                          | напр. Активные ПО ВЫСОТЕ несущие конструкции |                               |
| Уровень 2 | ТИП несущей конструкции       | картина явления, или общепринятое обозначение объекта | АРОЧНАЯ несущая конструкция                 | ТЕНТОВАЯ несущая конструкция | РАМНАЯ несущая конструкция                    | ПЕРЕКРЕСТНО-БАЛОЧНАЯ несущая конструкция | СТВОЛЬНЫЕ высотные сооружения                | ПРОЛЕТНЫЕ высотные сооружения |
| Уровень 3 | ОДИНОЧНАЯ несущая конструкция | геометрический, или конструктивный, признак           | опорная решетка                             | наивысшая точка тента        | одноэтажные рамы                              | ростверк с уступами                      | косвенное (непрямое) центральное нагружение  | одноэтажные пролеты           |

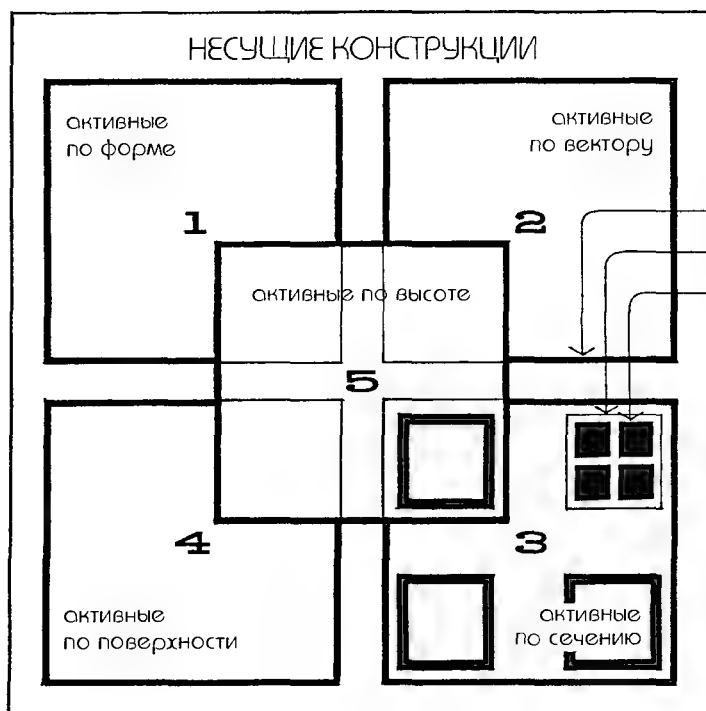
1. Уровень: 5 СЕМЕЙСТВ несущих конструкций  
Характерные механизмы изменения направления сил и их отведения образуют основу для главного деления несущих конструкций на 5 подсистем – «семейств» (с новыми названиями для каждого «семейства»).

2. Уровень: 19 ТИПОВ несущих конструкций  
Дальнейшее подразделение на типы несущих конструкций обуславливается известными обозначениями несущих конструкций, которые являются

производными от картины явления, технической структуры или характерного строительного элемента.

3. Уровень: 70–80 ОДИНОЧНЫХ несущих конструкций

Последняя дифференциация основана на определенном геометрическом, или конструктивном, признаке несущего тела. Она дает наглядное распределение несущих конструкций, которые образуют важную область форм в проекте.



### СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В КЛАССИФИКАЦИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

СЕМЕЙСТВО несущих конструкций

ТИП несущих конструкций

ОДИНОЧНАЯ несущая конструкция

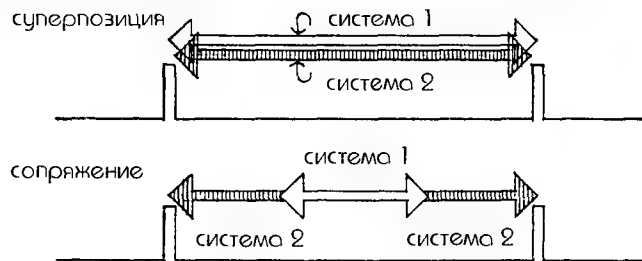
Активные по высоте несущие конструкции

В «семействах» несущих конструкций активные по высоте несущие конструкции являются исключением. Их собственная устойчивость базируется не на специфическом механизме переориентации сил, как у остальных «семейств», а на особой несущей функции: аккумуляции и заземлении поэтажных нагрузок, стабилизации несущей основы по отношению к ветровым и другим помехам. Для исполнения этой функции 5-е «семейство» использует механизмы всех остальных 4-х «семейств».

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ: ГИБРИДНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

## Определение

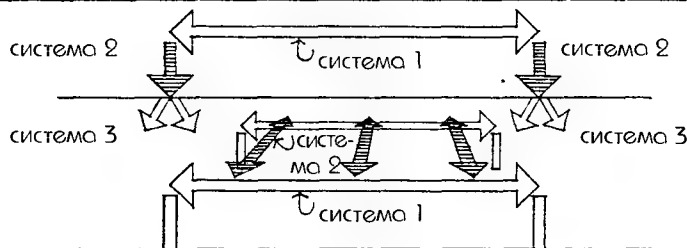
Гибридные несущие конструкции – это системы, в которых изменение направления сил происходит благодаря взаимодействию двух или более конструкций из различных «семейств»



несущих конструкций, принципиально стоящих в одном ряду по своей несущей функции. Взаимодействие достигается двумя возможными формами соединения системы: НАЛОЖЕНИЕ или СОПРЯЖЕНИЕ.

## Неправильное название «гибрид».

Под гибридными несущими системами НЕ следует понимать те системы, в которых исполняются отдельные функции несущей конструкции, например, восприятие

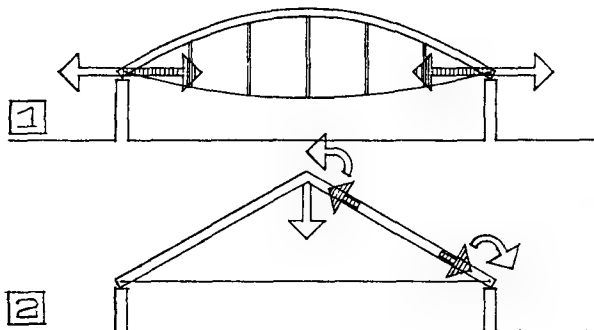


нагрузки, распределение, отсоча нагрузки, ветровая связь или другие виды стабилизации конструкций различных «семейств».

## Потенциально гибридная несущая конструкция

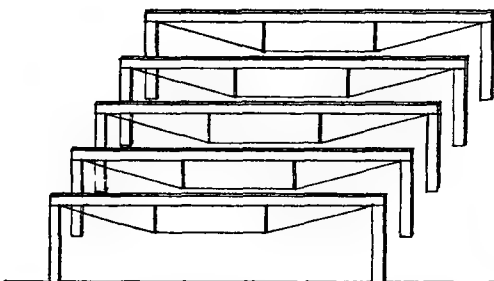
- 1 Компенсация с переменной сторон, соответственно – снижение критических усилий.

Например: противоположные горизонтальные усилия опорной орки и несущего троса на опоре.

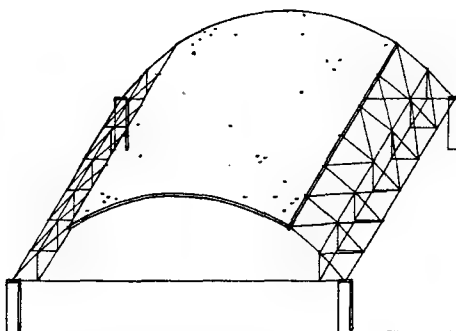


- 2 Статическая двойная или мультифункция отдельных несущих элементов. Например: функция верхнего пояса или стропила в качестве несущей балки и бруса, работающего на сжатие.

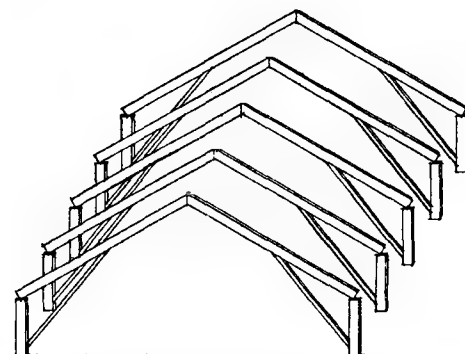
## Примеры гибридных несущих конструкций



балка с нижней затяжкой: наложение активных по СЕЧЕНИЮ и ФОРМЕ систем



свод-оболочка с решетчатым сегментом: сопряжение



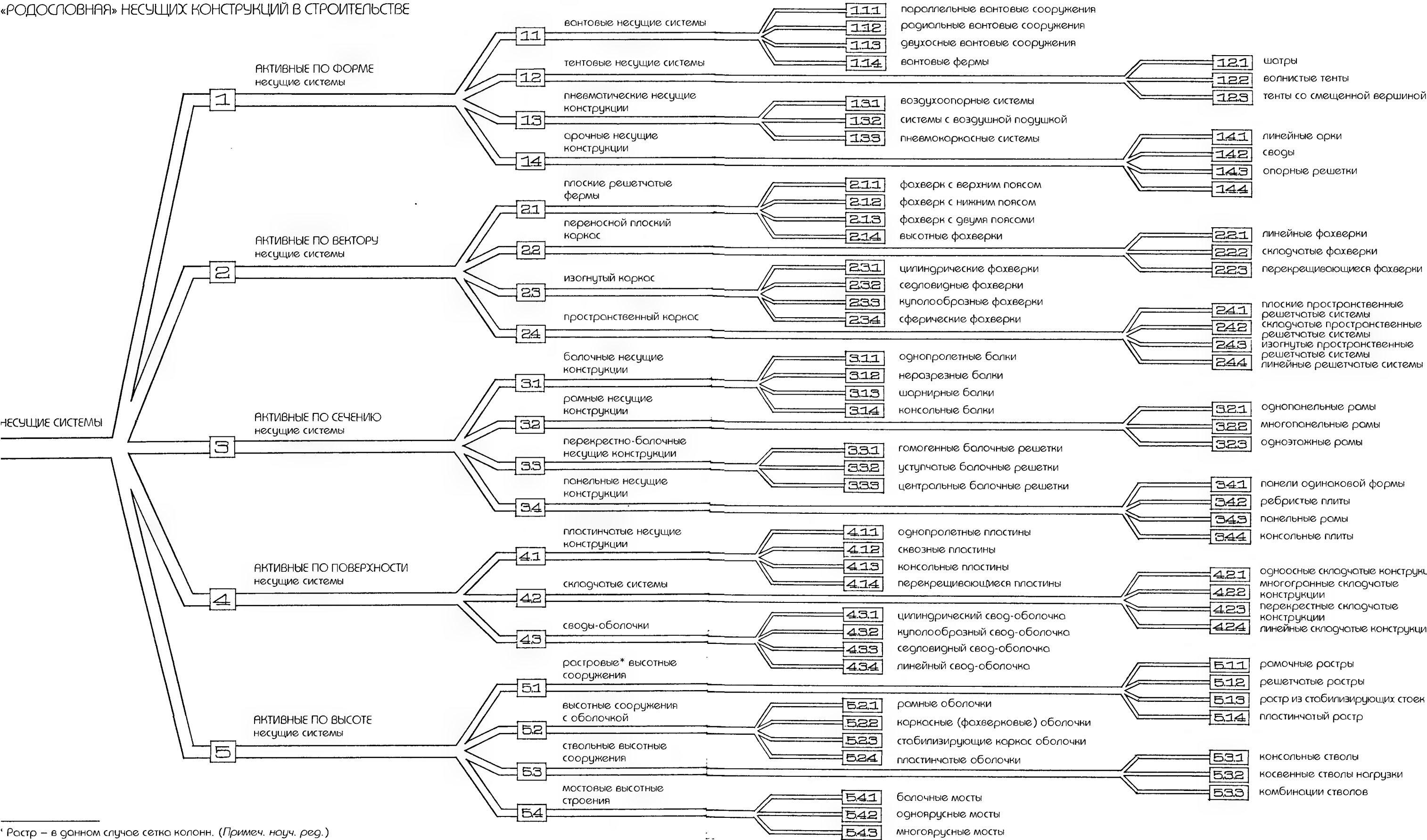
стропильная ферма со стопорами: наложение активных ПО СЕЧЕНИЮ и ВЕКТОРУ систем

Ошибочное распределение по категориям гибридных несущих систем как собственно понятный ВИД несущих конструкций.

Гибридные несущие системы НЕ могут считаться постоянным «СЕМЕЙСТВОМ» несущих конструкций или структурно определенным «ТИПОМ» несущих конструкций.

1. Они не имеют типичного механизма изменения направления сил.
2. Они не обнаруживают специфического или напряженного состояния.
3. Они не обладают характерными структурными признаками.

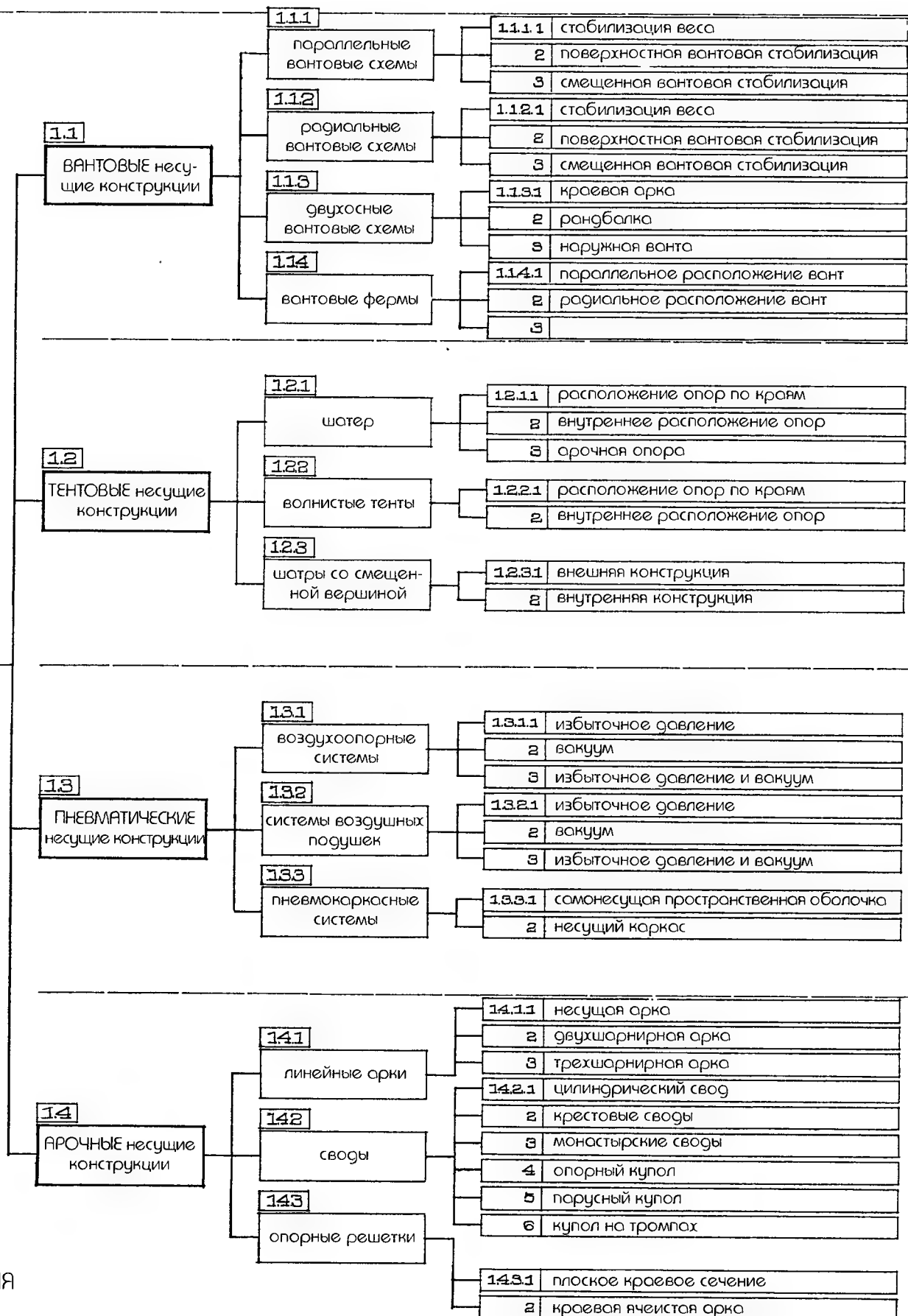
«РОДОСЛОВНАЯ» НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



\* Растр – в данном случае сетка колонн. (Примеч. науч. ред.)

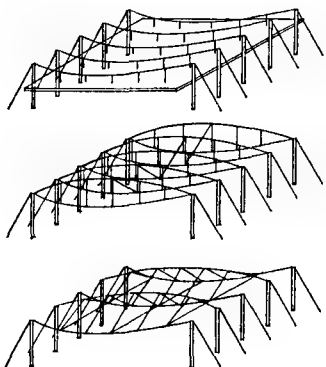
**1**

АКТИВНЫЕ  
ПО ФОРМЕ  
несущие  
системы

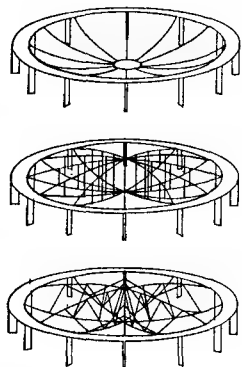




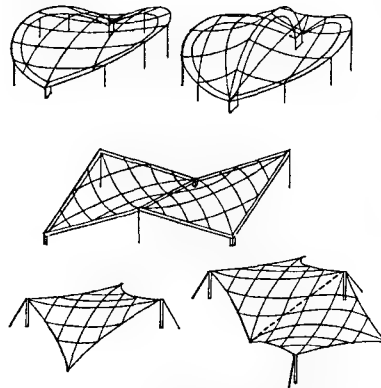
111



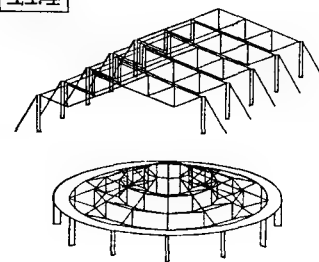
112



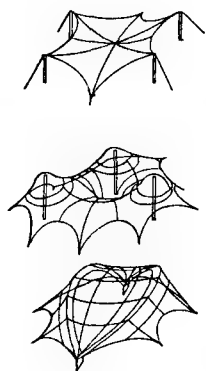
113



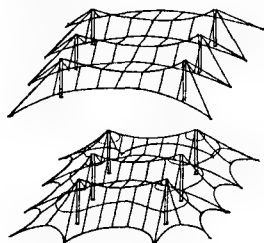
114



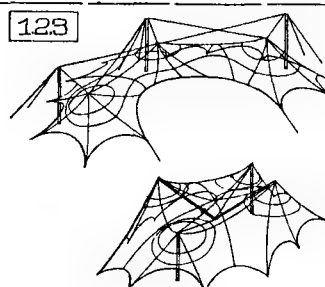
121



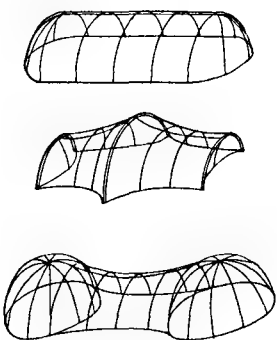
122



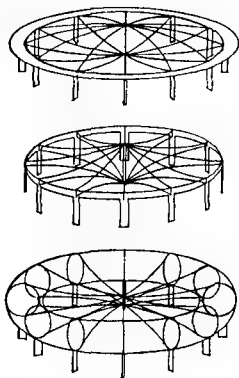
123



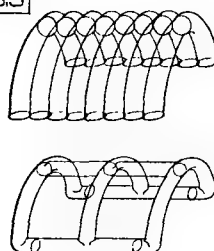
131



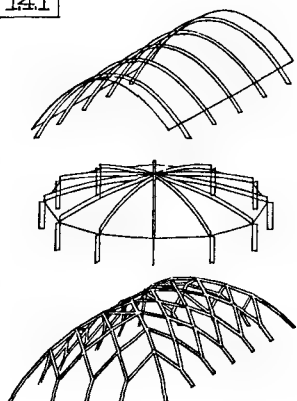
132



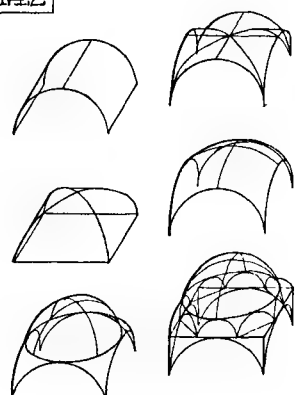
133



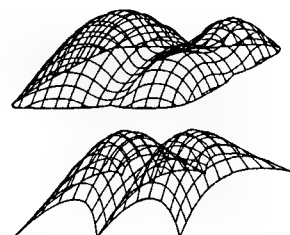
141

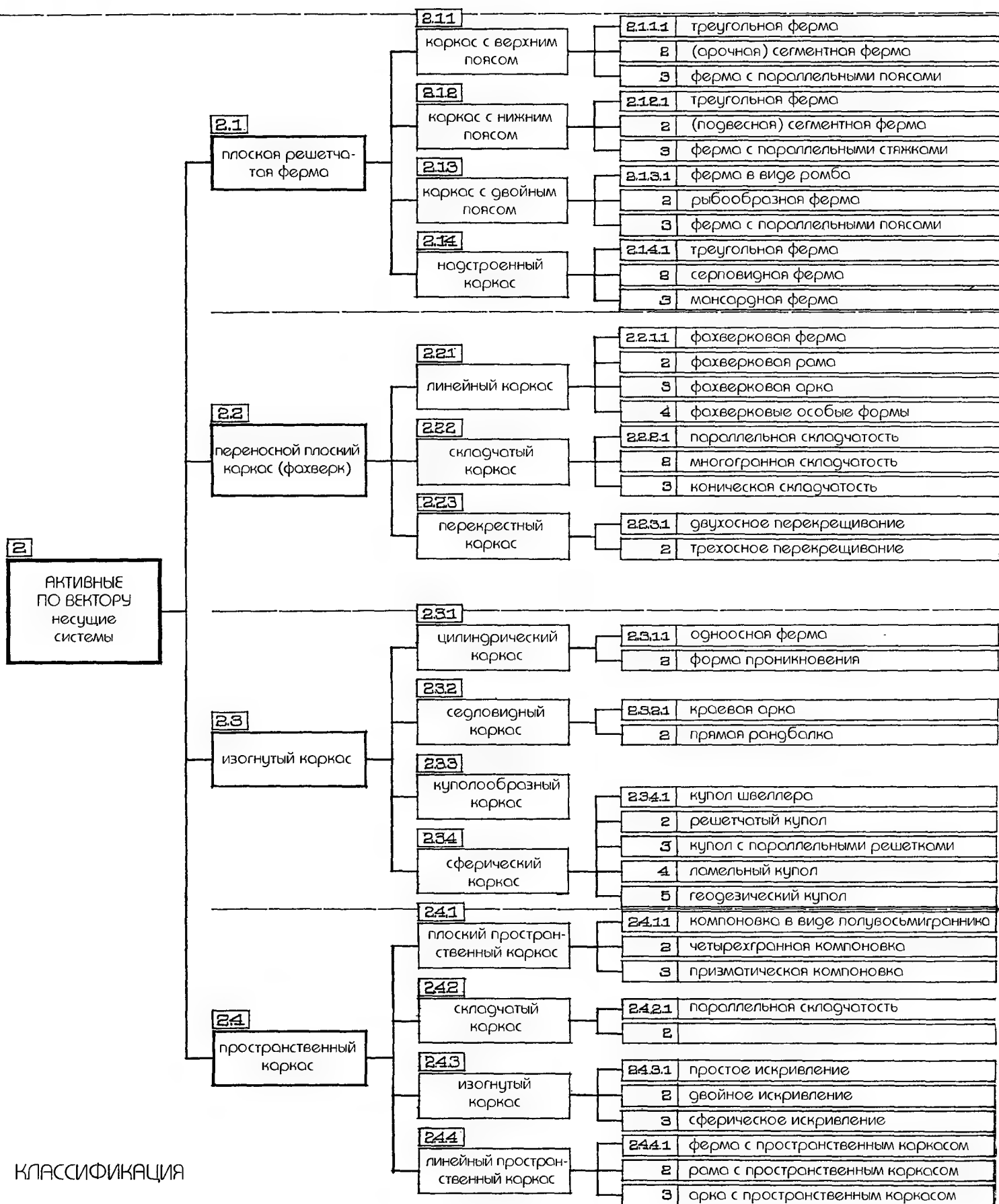


142

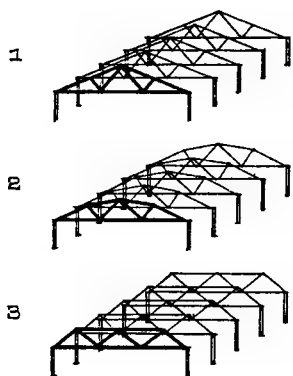


143

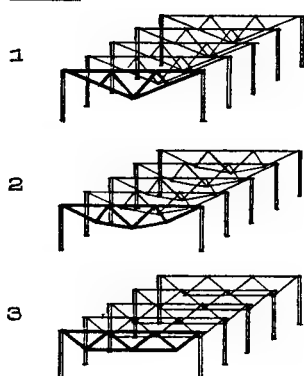




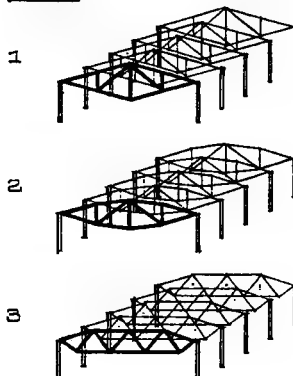
2.1.1



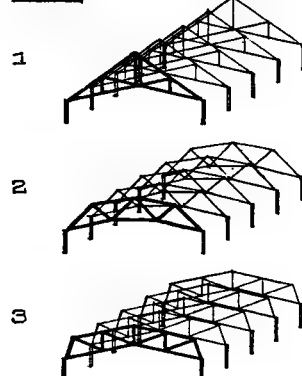
2.1.2



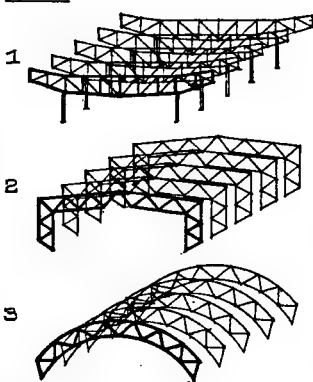
2.1.3



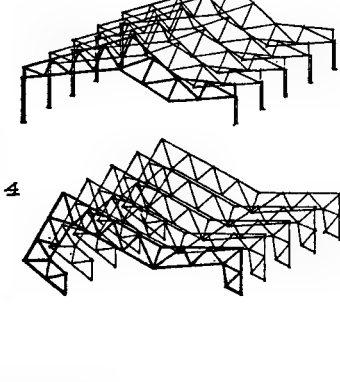
2.1.4



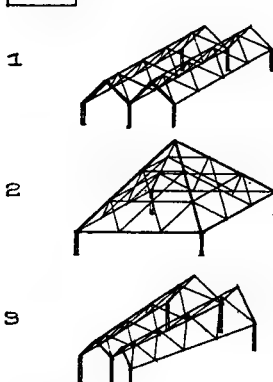
2.2.1



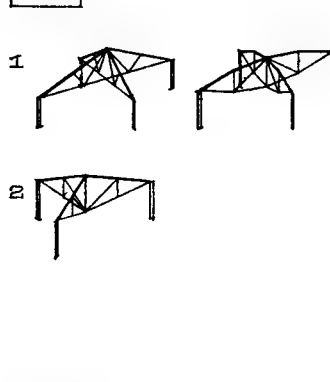
2.2.2



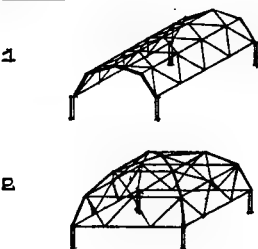
2.2.3



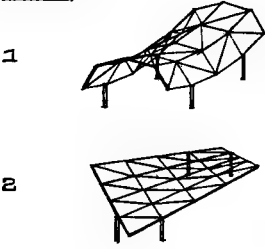
2.2.5



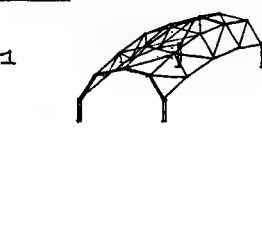
2.3.1



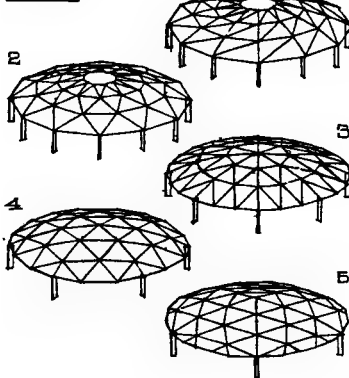
2.3.2



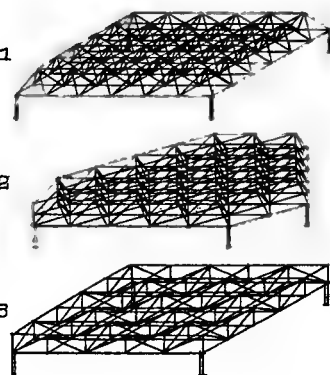
2.3.3



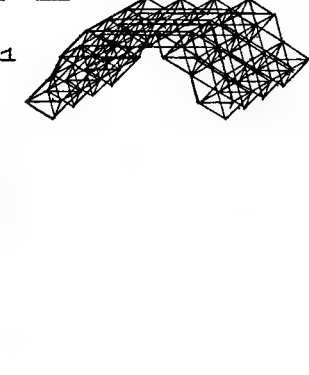
2.3.4



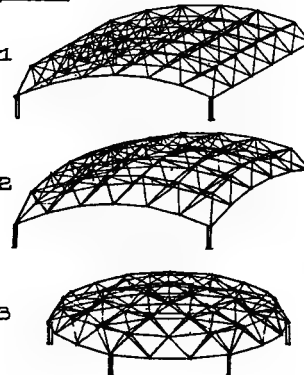
2.4.1



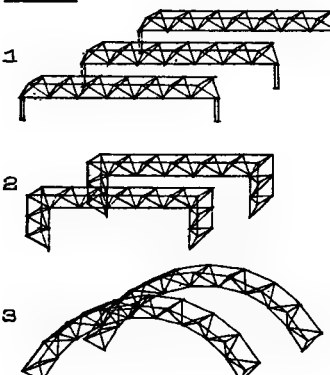
2.4.2

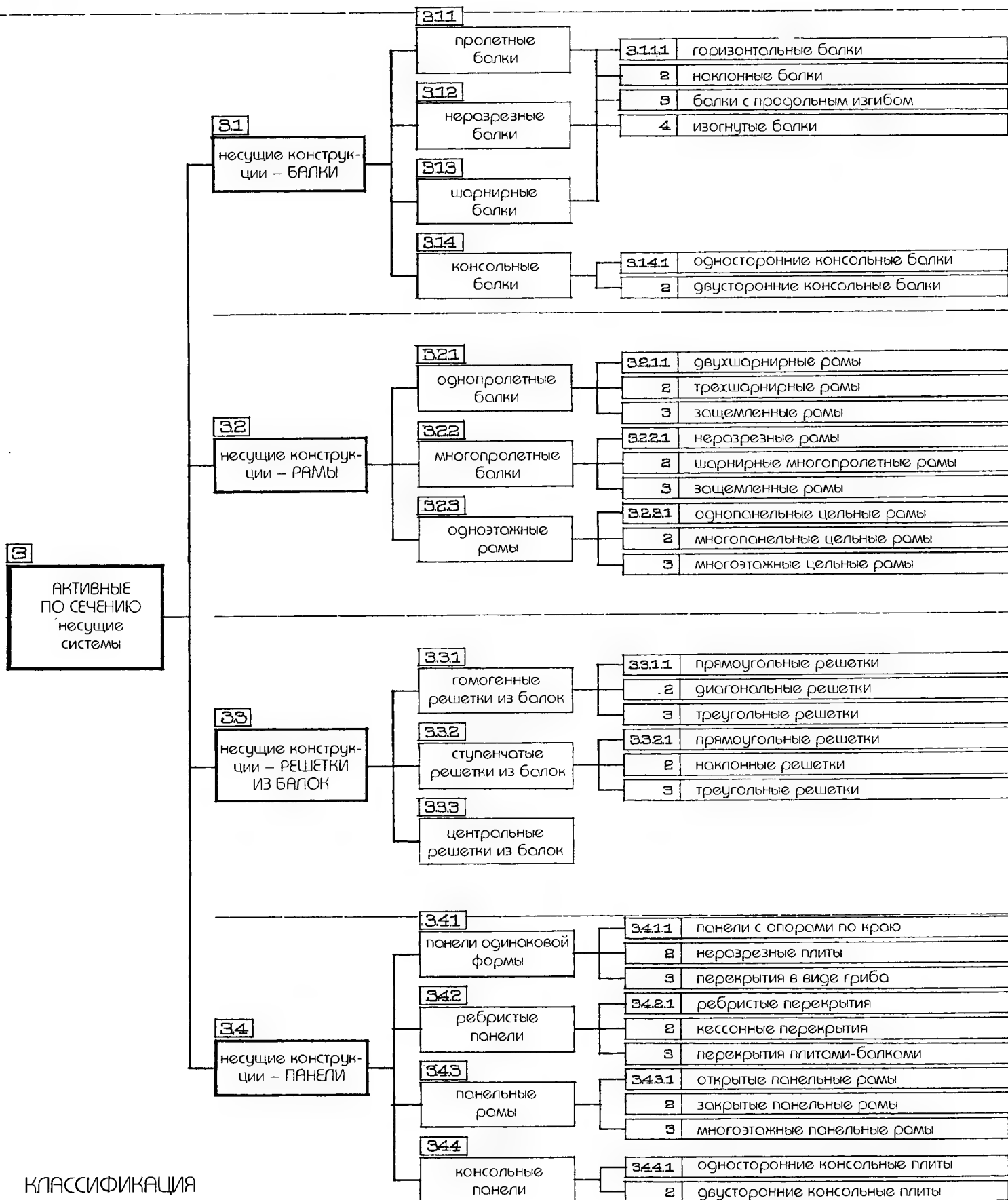


2.4.3

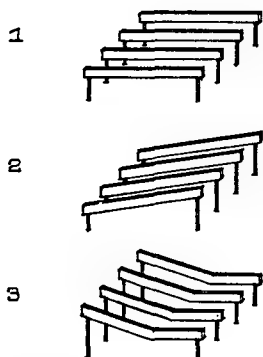


2.4.4

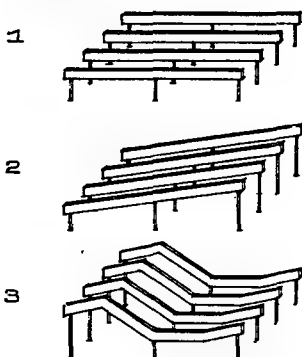




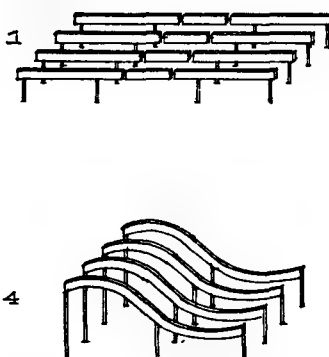
3.1.1



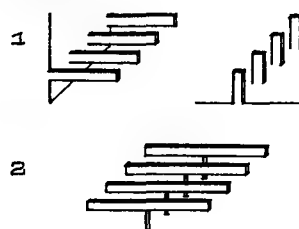
3.1.2



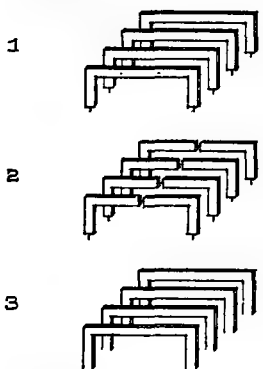
3.1.3



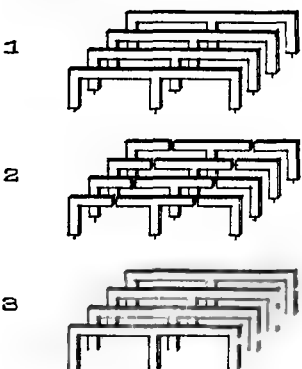
3.1.4



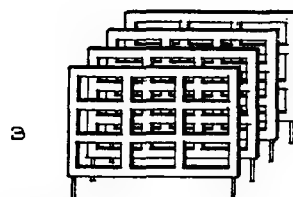
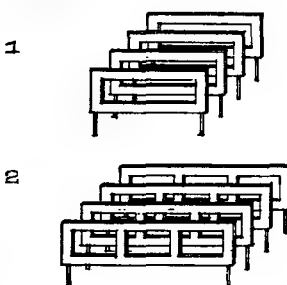
3.2.1



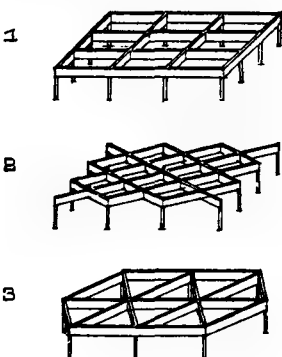
3.2.2



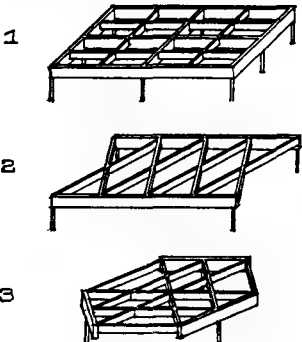
3.2.3



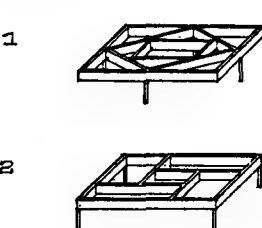
3.3.1



3.3.2



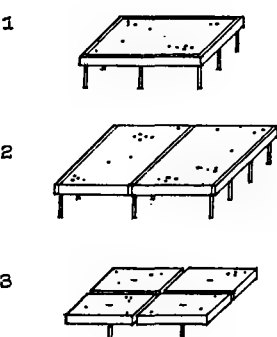
3.3.3



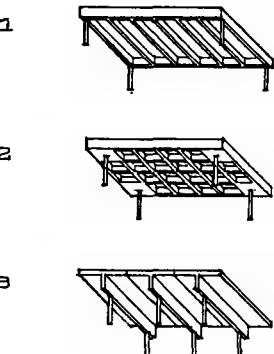
3.3.4



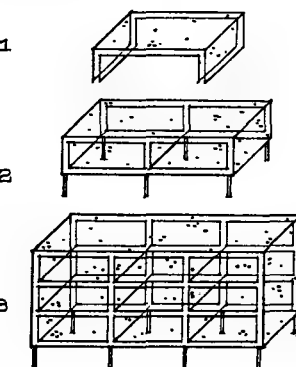
3.4.1



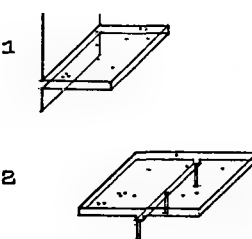
3.4.2

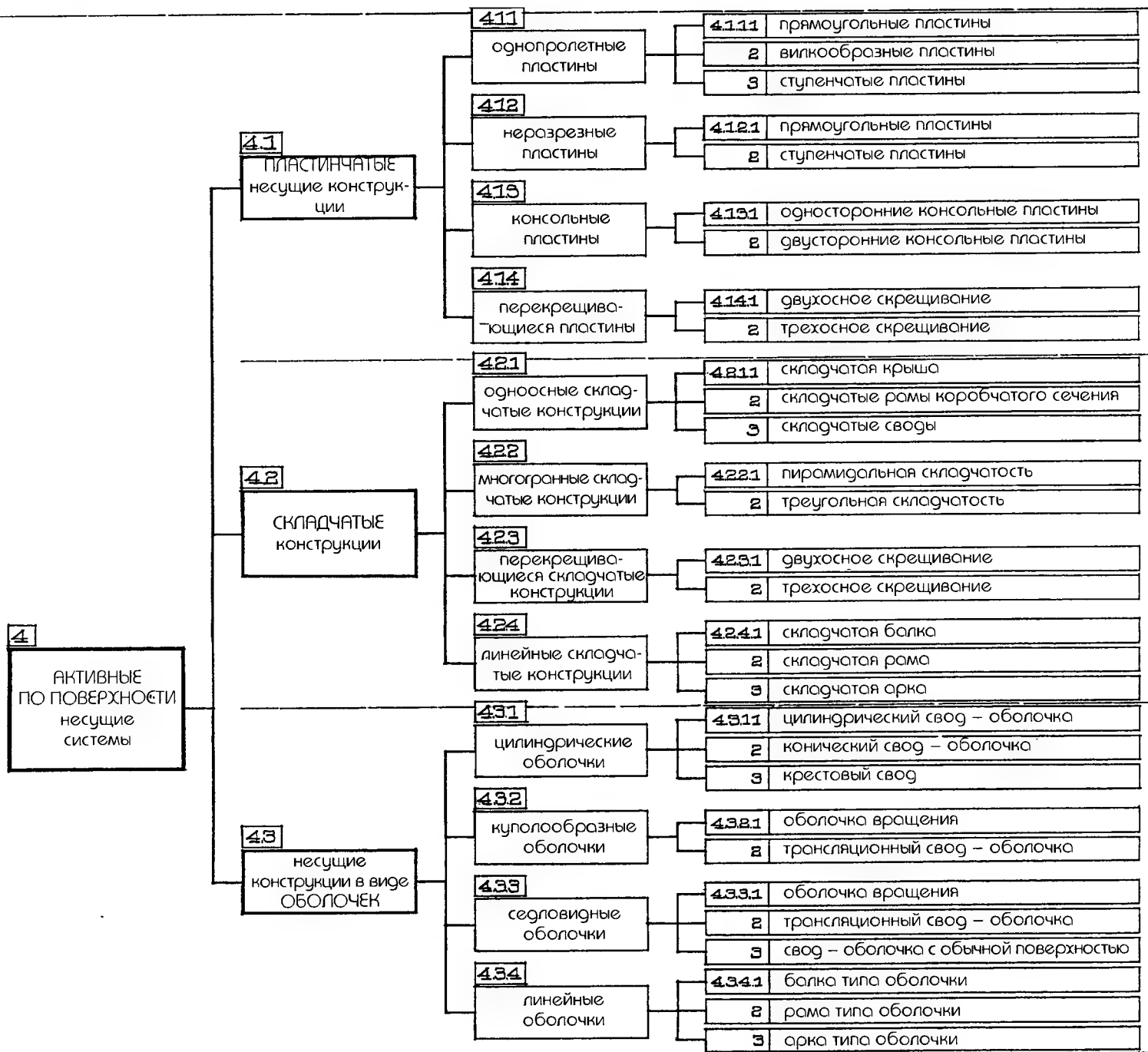


3.4.3

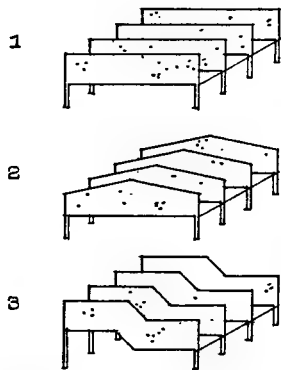


3.4.4

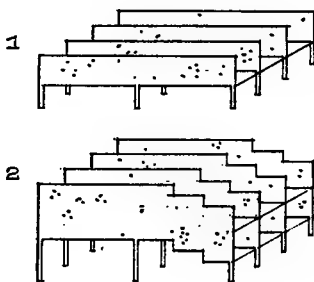




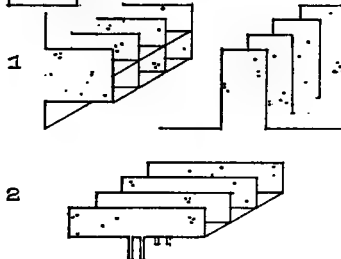
411



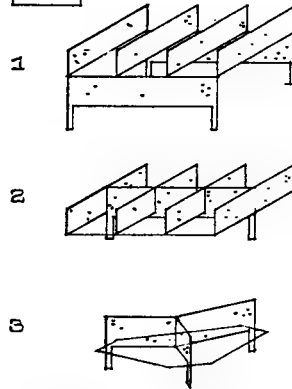
412



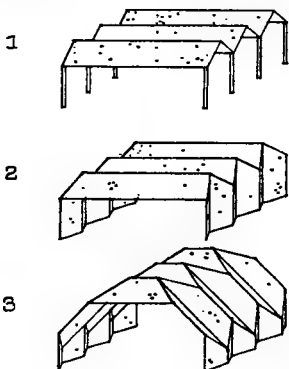
413



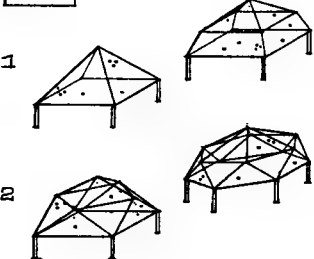
414



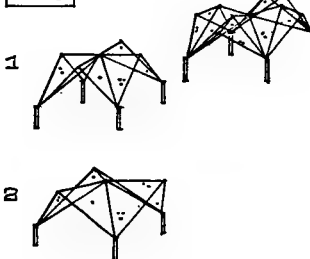
421



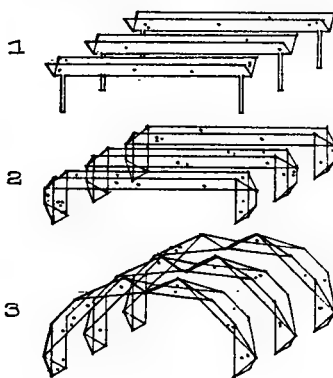
422



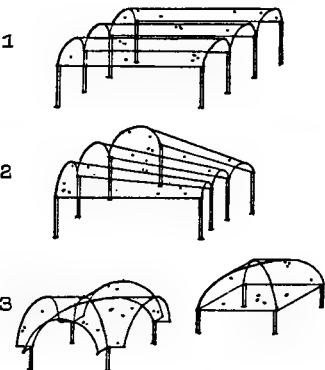
423



424



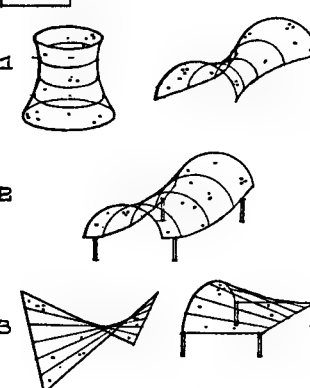
431



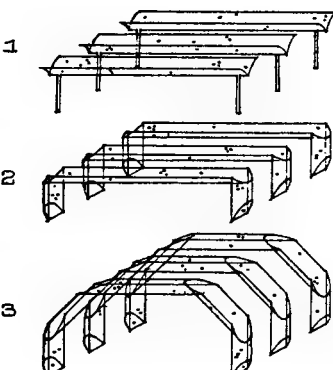
432

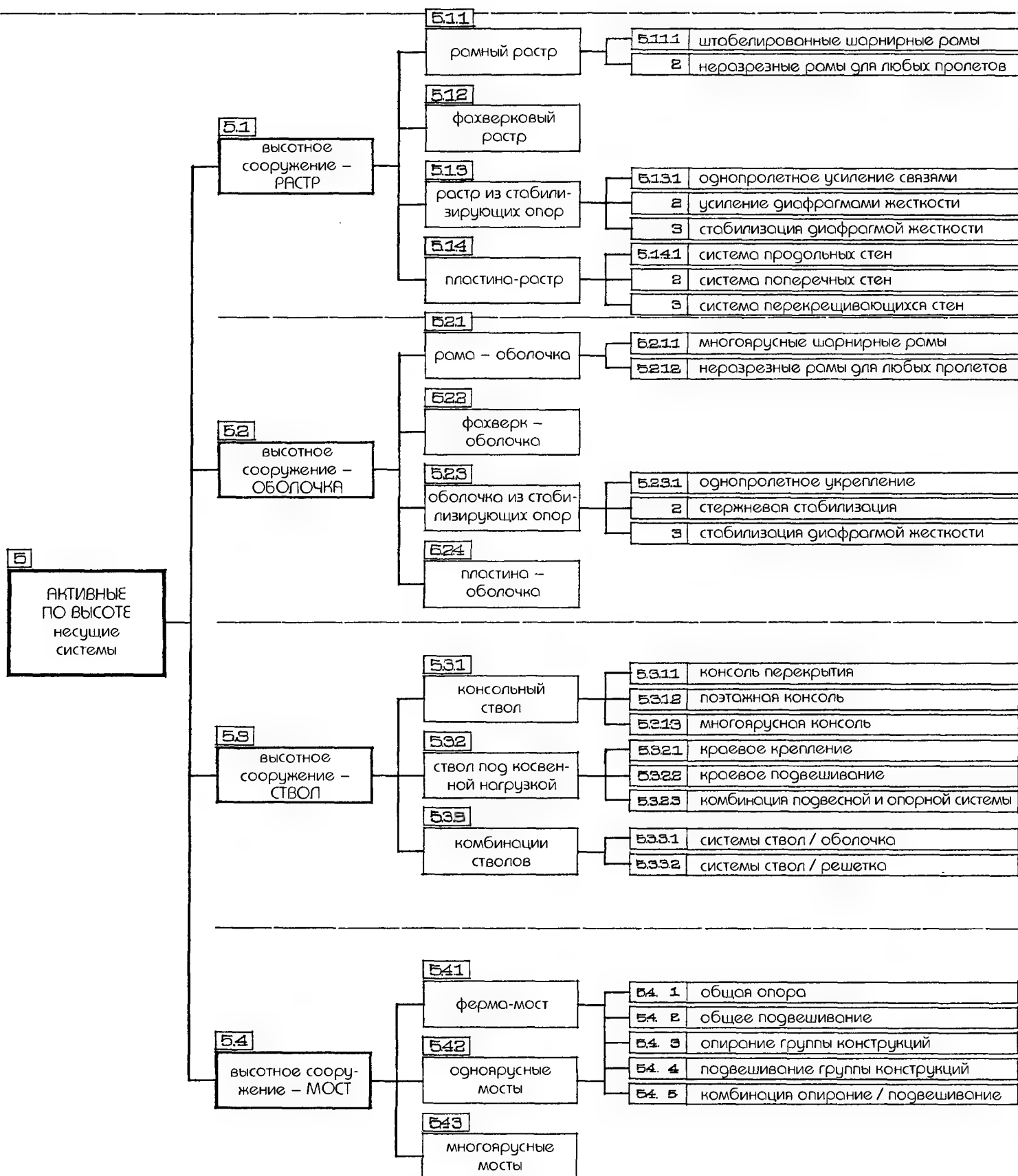


433



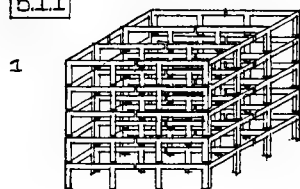
434



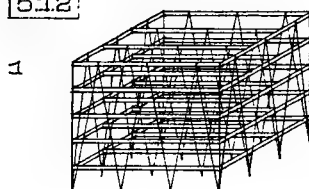




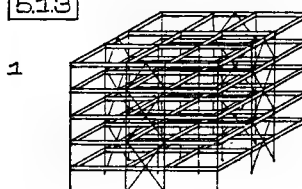
5.1.1



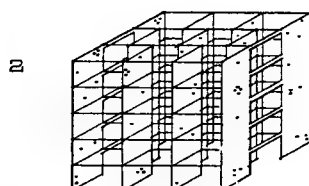
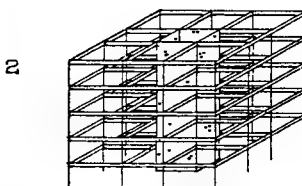
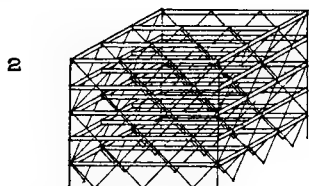
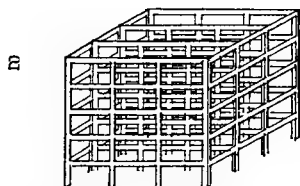
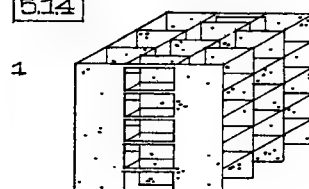
5.1.2



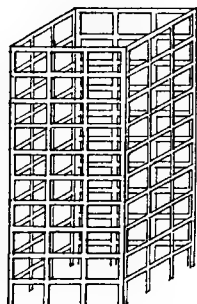
5.1.3



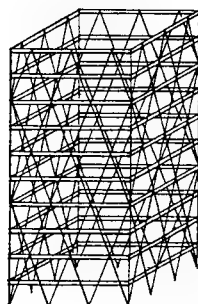
5.1.4



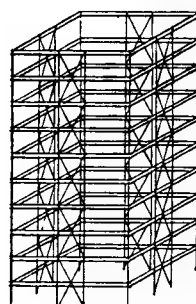
5.2.1



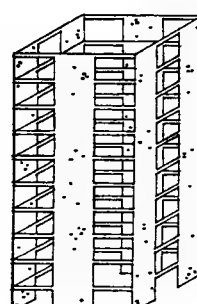
5.2.2



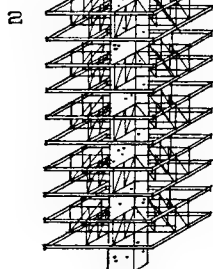
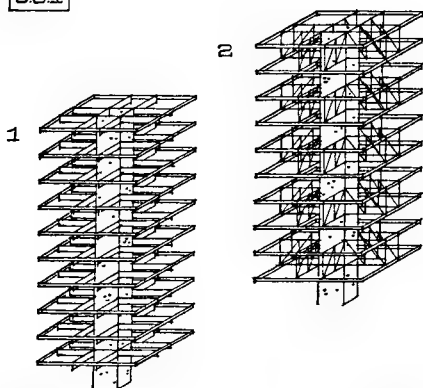
5.2.3



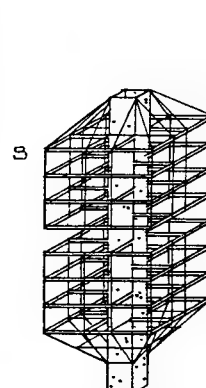
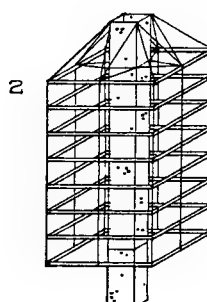
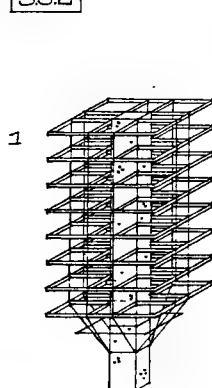
5.2.4



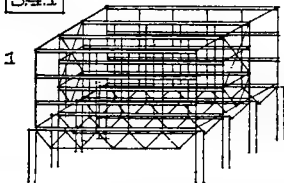
5.3.1



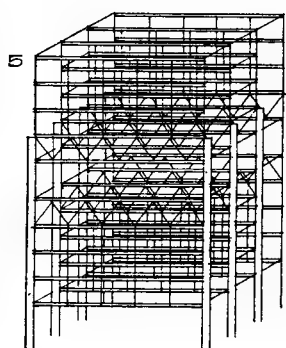
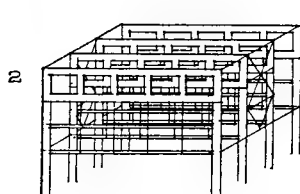
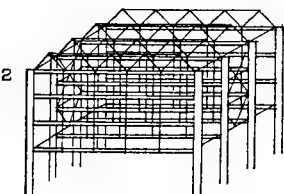
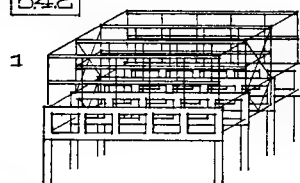
5.3.2



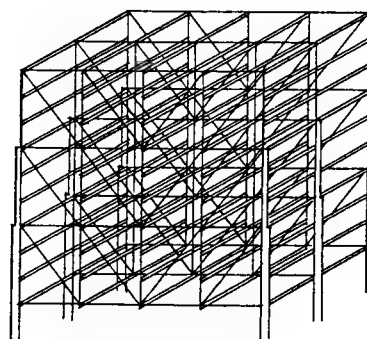
5.4.1



5.4.2



5.4.3



# **АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

**1**

Нежесткая, гибкая материя, сформированная определенным образом и жестко закрепленная на концах, может нести себя сама и перекрывать пространство: активная по форме несущая система.

Предшественниками подобных несущих систем являются вертикальная подвесная ванта, которая снимает нагрузку непосредственно в точках подвешивания, и вертикальная опора, которая передает нагрузку непосредственно к точке опоры.

Вертикальные опоры и вертикальные подвесные ванты являются прототипами формоактивных несущих систем. Они передают нагрузку только с помощью простых нормальных усилий, т. е. либо посредством сжатия, либо посредством растяжения.

Благодаря связке двух подвесных вант с различными точками подвешивания образуется несущая ванта, которая может удержать себя саму в свободном пространстве и отвести в сторону нагрузки исключительно с помощью растягивающего усилия.

Формой, обратной несущей ванте, является несущая арка. Идеальной формой арки для определенной нагрузки является соответствующая линия подвески для такой же нагрузки.

Таким образом, характерным признаком формоактивных несущих систем является то, что они отводят внешние силы с помощью простых усилий: опорная арка – с помощью сжимающих усилий, а подвесная ванта – с помощью растягивающих усилий.

Формоактивные несущие системы развивают в своих конечных точках горизонтальные силы. Восприятие этих сил является существенной проблемой проектирования формоактивных несущих систем.

Несущий механизм формоактивных систем основывается преимущественно на форме материи. Отклонение от правильной формы, если это возможно, подвергает сомнению принцип действия системы или требует дополнительных механизмов изменения направления сил, которые компенсируют это отклонение.

Структурная форма формоактивных несущих систем в идеальном случае точно соответствует потоку сил. Поэтому подобные несущие системы являются материальным воплощением «природных» направлений сил.

«Природной» силовой линией формоактивной системы, работающей на сжатие, является линия опоры; для формоактивной системы, работающей на растяжение, такой «естественной» линией является линия подвески. Линия опоры и линия подвески являются, с одной стороны, результатом сил, воздействующих на систему, и, с другой стороны, отношением стрелы подъема к длине пролета.

Линии опоры или линии подвески являются, таким образом, вторым признаком формоактивных несущих систем.

Каждое изменение условий нагружения или опирания изменяет форму линии опоры или подвески и обуславливает новую структурную форму. В то время

как несущая ванта в качестве «постдающей» системы при изменении нагрузки сама принимает новую линию подвески, опорная арка в качестве «сопротивляющейся» системы благодаря жесткости при изгибе должна воспринять разницу измененной линии опоры.

Так как несущая ванта при различных нагрузках изменяет свою форму, она всегда должна являться линией подвески для действующей нагрузки. Напротив, арка может быть линией опоры только для абсолютно определенной нагрузки, так как она не может изменить свою форму.

Формоактивные несущие системы из-за их зависимости от состояния нагрузки строго подчиняются закону «естественных силовых процессов» и поэтому не подлежат произволу свободного формообразования. Строительная форма и пространственная форма являются результатом механики сопротивления.

Легкость гибкой несущей ванты и тяжесть жесткой по отношению к изменению арки являются недостатками формоактивных несущих систем. Они могут быть исключены в дальнейшем благодаря предварительному напряжению системы.

Как несущая ванта может быть стабилизирована посредством предварительного напряжения, чтобы иметь возможность воспринимать дополнительные, направленные вверх силы, точно так же и несущая арка может быть предварительно сжата с помощью элементов, работающих на растяжение, чтобы иметь возможность передать асимме-

тричные нагрузки без критических деформаций.

Арка и несущая ванта являются самыми экономичными с точки зрения материала системами, т. к. в их основе лежит напряженное состояние простого сжатия или растяжения.

Из-за их идентичности с «естественным» протеканием сил, формоактивные несущие системы являются подходящими механизмами для получения широких пролетов и образования обширных объемов.

Так как формоактивные несущие системы отводят нагрузки прямым путем, они являются по существу линейными элементами. Это относится и к вантовым аркам, мембранам, и к решетчатым

куполам, у которых передача нагрузки происходит линейно, правда больше, чем по одной оси, но при отсутствии срезающих усилий.

Формоактивные несущие элементы могут прижиматься к поверхностной структуре. Если простое состояние напряжения – признак формоактивных систем – сохраняется, то они подчиняются закону линии опор и линии подвески.

Несущая арка и несущая ванта являются, однако, не только основными элементами формоактивных несущих систем, но и элементарной идеей для каждого несущего механизма и тем самым символом технической подготовки человеком пространства как такового.

Формоактивные свойства могут использоваться во всех других несущих системах. В несущих системах, активных по поверхности, они являются существенной составной частью функционирования несущего механизма.

Формоактивные несущие системы больших пролетов имеют особое значение для цивилизации с ее потребностью в больших объемах. Они являются потенциальной формой несущих конструкций для будущего строительства.

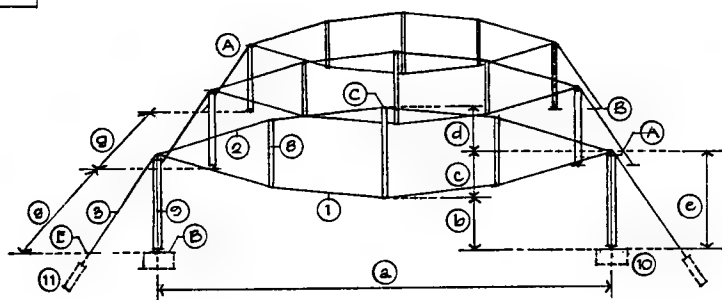
Знание закономерностей формоактивного отведения сил является предпосылкой для разработки каждой несущей системы и поэтому первичной основой знаний для проектировщика или инженера.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ** АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ – это несущие системы из материи конечной жесткости, в которой происходит передача сил с помощью ее характерной стабилизации.

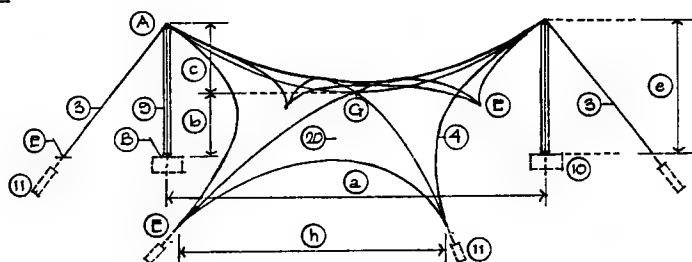
**СИЛЫ** Элементы системы нагружаются при этом в основном аналогичными (однородными) нормальными силами, т. е. либо на сжатие, либо на растяжение: СИСТЕМА В ПРОСТОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

**ПРИЗНАКИ** Типичные структурные признаки – это ЦЕПНАЯ ЛИНИЯ (ЛИНИЯ ПОДВЕСКИ) / ЛИНИЯ ОПОРЫ / КРУГ

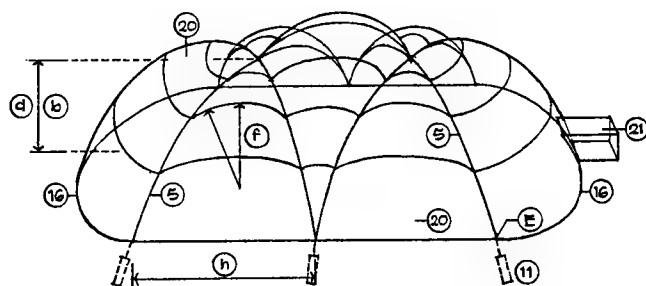
### 11 Вантовая система



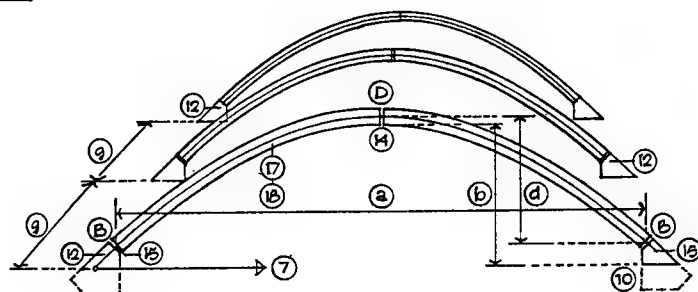
### 12 Тентовая система



### 13 Пневматическая система



### 14 Арочная система



### СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ

#### Элементы системы

- ① несущая ванта, грузовая ванта
- ② стабилизирующая ванта, натяжная ванта
- ③ удерживающая ванта, вантовая оттяжка
- ④ кроевая ванта
- ⑤ ванта, образующая разжелобок
- ⑥ подвесная ванта
- ⑦ стяжка, анкерная стяжка
- ⑧ сжатый стержень, распорный стержень
- ⑨ опора, пилон, мачта
- ⑩ фундамент, основание
- ⑪ анкер, закрепленный в грунте, анкер с оттяжками
- ⑫ контрфорс (опора)
- ⑬ шарнир
- ⑭ замковый шарнир
- ⑮ патовый шарнир (на конце стойки)
- ⑯ анкерное кольцо
- ⑰ арка
- ⑱ шарнирная арка
- ⑲ контрфорс
- ⑳ несущая мембрана
- ㉑ воздушный (вентиляционный) шлюз
- ㉒ функциональные венты

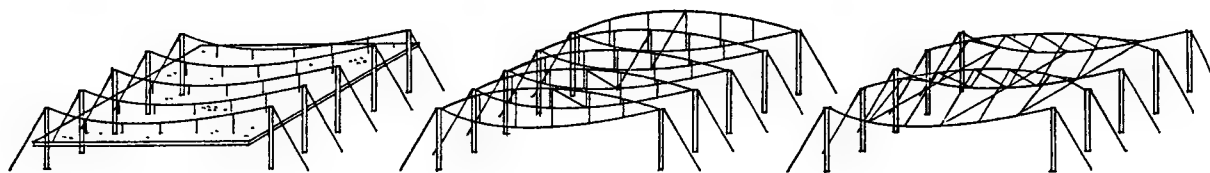
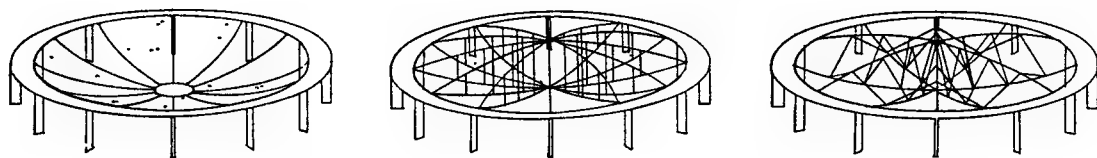
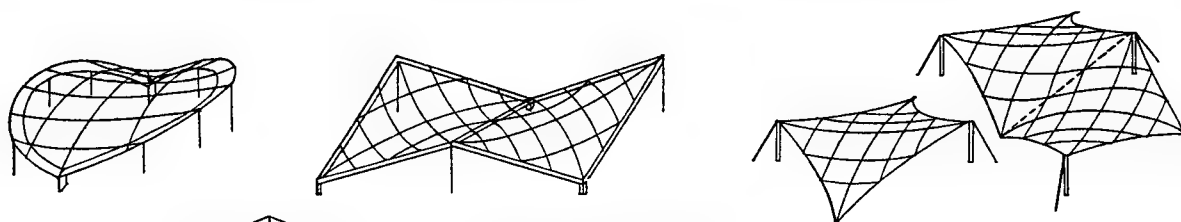
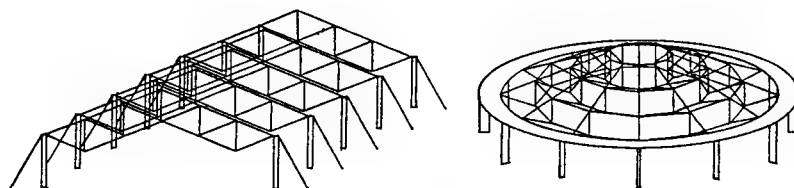
#### Топографические точки системы

- A точка подвешивания
- B точка пересечения откоса с подошвой основания
- C наивысшая точка
- D точка соединения
- E точка крепления анкера, точка оттяжки
- F точка опоры
- G наиболее низкая точка
- H
- I

#### Размеры системы

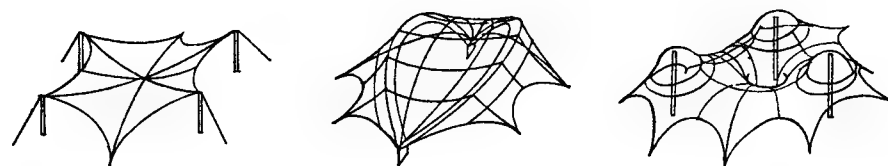
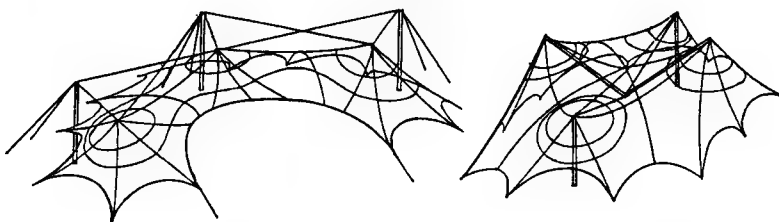
- a Ширина пролета, расстояние между опорами
- b Высота в свету
- c Провисание, стрела прогиба
- d Стрела прогиба, стрела подъема арки
- e Высота опор
- f Радиус изгиба
- g Расстояние между стропилами
- h Расстояние между точками крепления анкера
- i
- j

## 11 ВАНТОВЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Параллельные  
напряженные системыРадиальные напряженные  
системыДвухосные напряженные  
системыВантовые каркасные  
конструкции

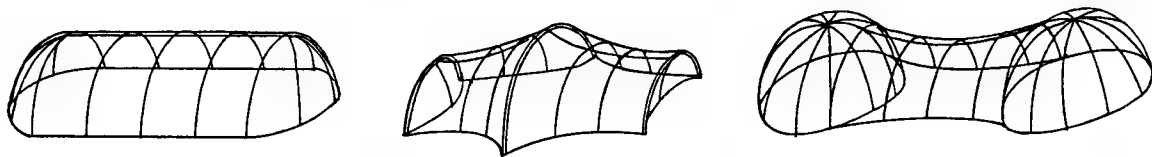
## 12 ТЕНТОВЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Тентовые системы

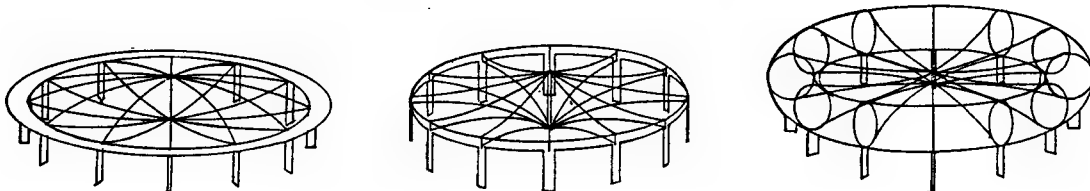
Волнистые тентовые  
системыМногошатровое  
тентовое покрытие

13 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

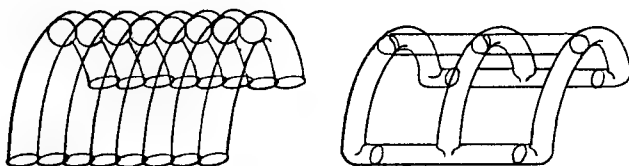
Воздухоопорные системы



Системы с воздушной подушкой

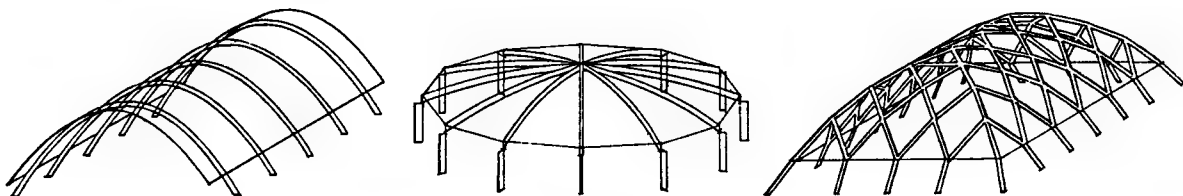


Пневмокаркасные системы

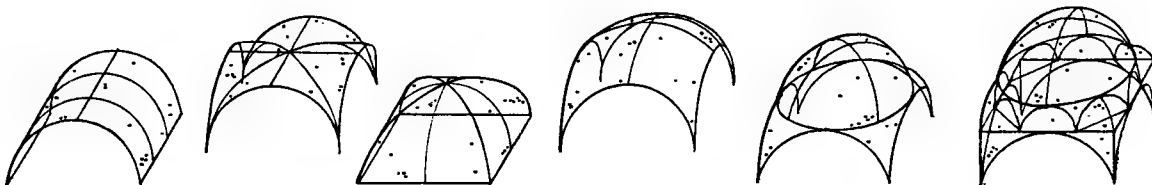


14 АРОЧНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

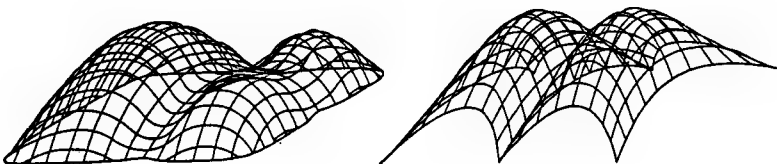
Линейные системы



Сводчатые системы



Решетчатые системы



ПРИМЕНЕНИЕ: НЕСУЩАЯ СИСТЕМА – СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ – ВЕЛИЧИНА ПРОЛЕТОВ

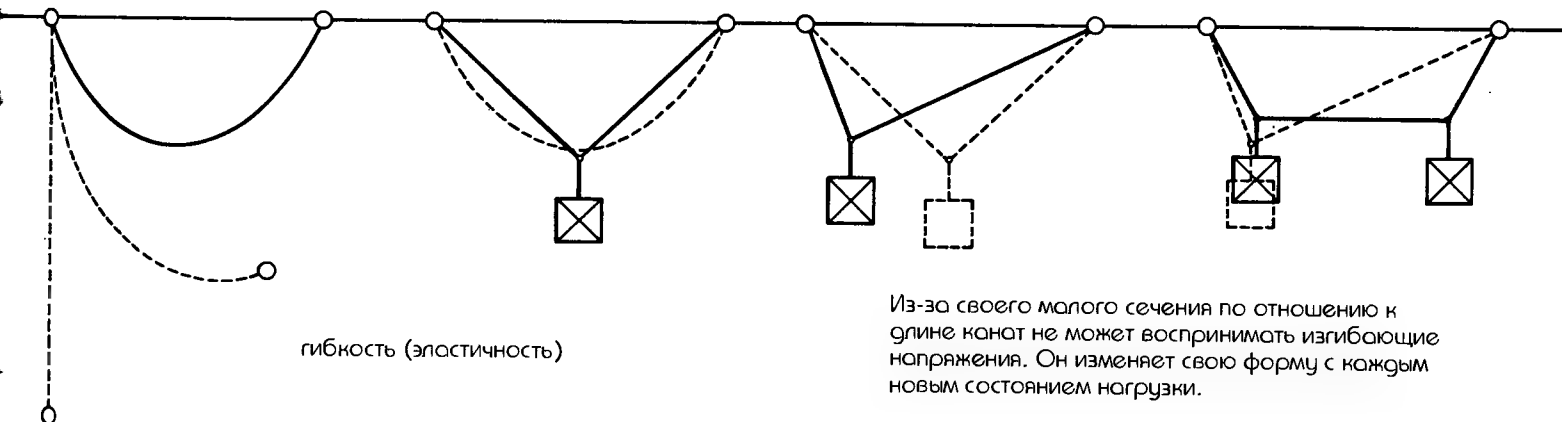
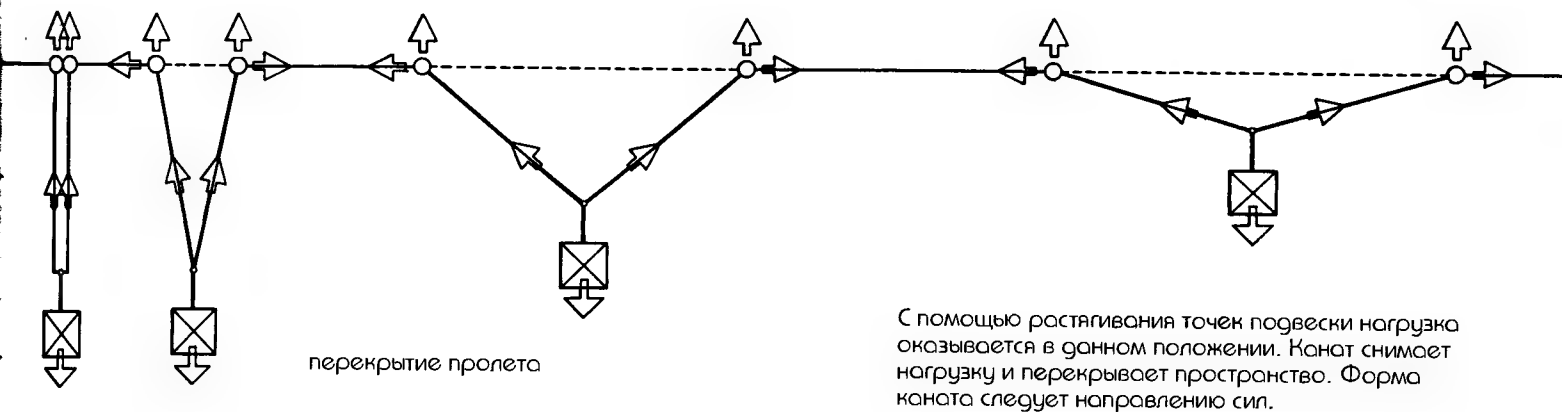
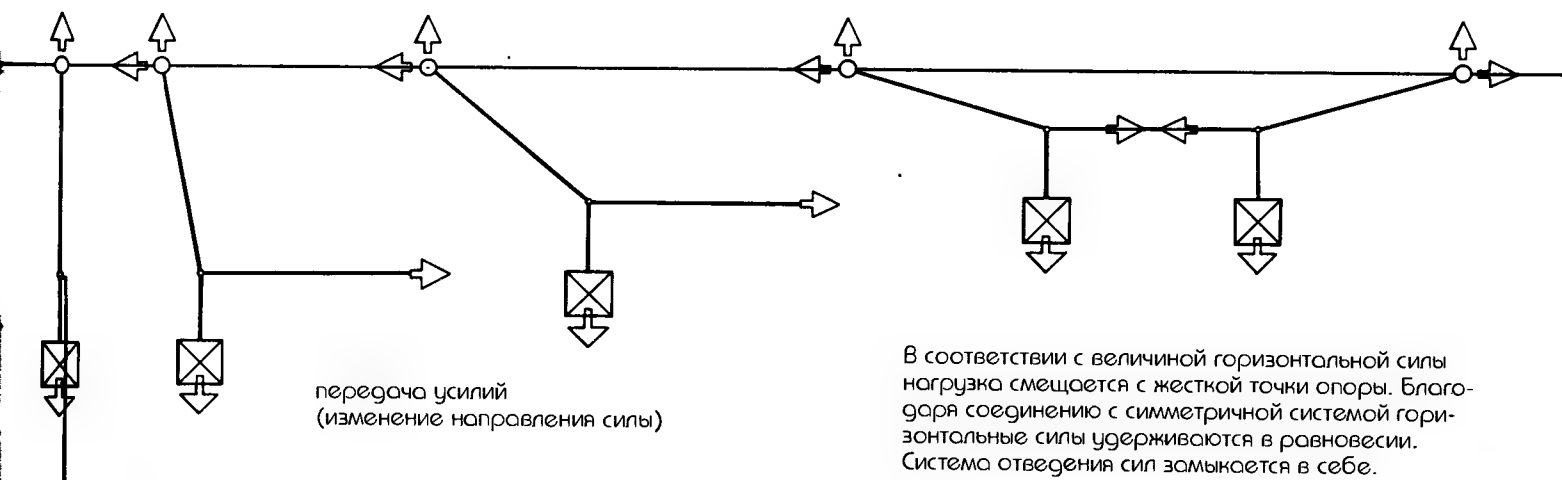
| Несущая система                                            |  | Исходный строительный материал                              | Величина пролетов в метрах |   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------|----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                                            |  |                                                             | 0                          | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |     |     |     |     |     |  |
| ВАНТОВЫЕ<br>несущие<br>конструкции<br><div>1.1</div>       |  | цельнометаллические металл + железобетон                    |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |     |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | цельнометаллические металл + железобетон                    |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 30 | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 |     |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | цельнометаллические металл + железобетон / + дерево         |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 25 | 50  | 75  | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 |     |     |     |     |     |     |  |
| ТЕНТОВЫЕ<br>несущие<br>конструкции<br><div>1.2</div>       |  | текстиль + металл / + дерево<br>пластик + металл / + дерево |                            | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | текстиль + металл / + дерево<br>пластик + металл / + дерево |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 20 | 40  | 60  | 80  | 100 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | пластик + металл / + железобетон                            |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 20 | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 | 160 |     |     |     |     |     |     |  |
| ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ<br>несущие<br>конструкции<br><div>1.3</div> |  | пластик + металл                                            |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 10 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |  |
|                                                            |  | пластик + металл / + дерево / + железобетон                 |                            |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 | 160 |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | пластик                                                     |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 10 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  |     |     |     |     |     |     |  |
| АРОЧНЫЕ<br>несущие<br>конструкции<br><div>1.4</div>        |  | железобетон (многослойная)<br>древесина<br>металл           |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 15 | 30  | 45  | 60  | 75  | 90  | 105 | 120 |     |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | кирпичная или каменная кладка                               |                            | 4 | 8  | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40  | 44  | 48  | 52  | 56  | 60  | 64  | 68  |     |     |     |     |     |  |
|                                                            |  | металл<br>дерево                                            |                            |   |    |    |    |    |    |    |    | 10 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |  |

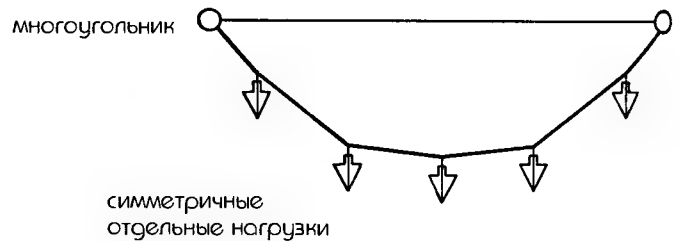
Каждому типу несущей конструкции должно подходить специфическое состояние напряжения его несущих элементов. Отсю-

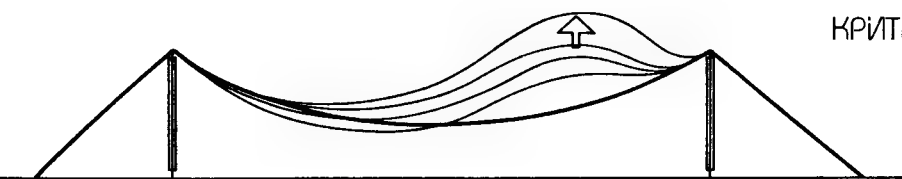
да получаются неизбежные для проекта соединения при выборе исходного строительного материала и ширины пролетов.



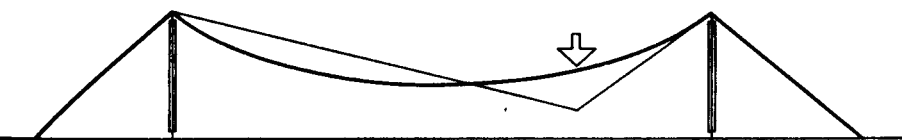
## СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРАВЛЕНИЕМ СИЛ И ФОРМОЙ ВАНТОВОЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ



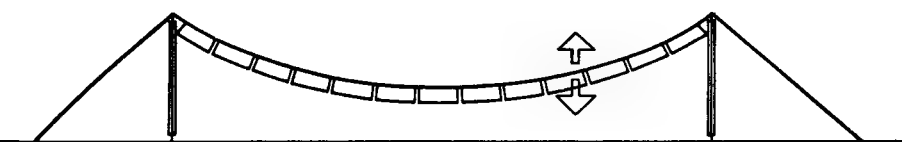




КРИТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ НЕСУЩЕЙ ВАНТЫ



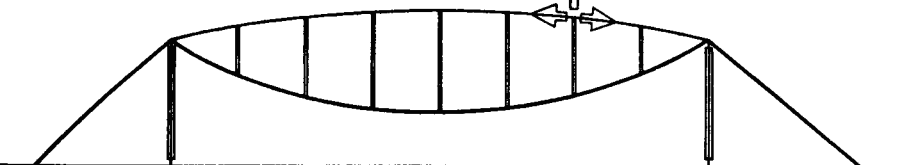
Из-за собственного малого веса и гибкости при большой длине несущая ванта очень подвержена воздействию воздушных потоков, колебаниям, асимметричным и подвижным нагрузкам.



увеличение собственного веса



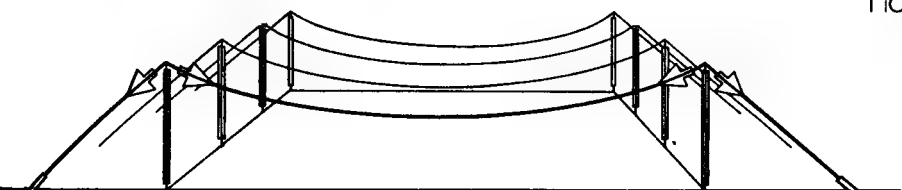
увеличение жесткости с помощью усовершенствования в виде перевернутой арки (или свода-оболочки)



натяжение с помощью изогнутой в другую сторону ванты

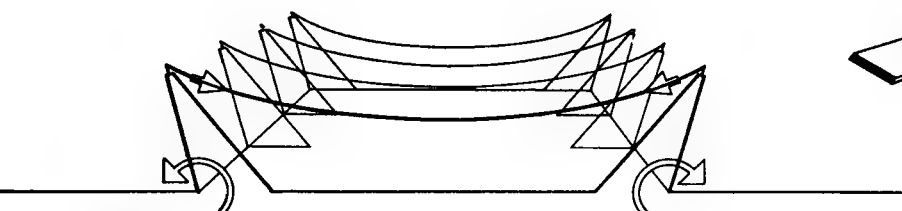


натяжение с помощью анкерowanych в основании поперечных вант



ОТТЯЖКА

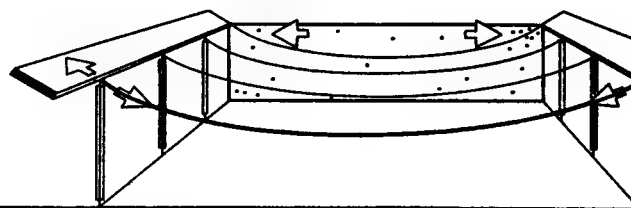
Поддерживающая система для параллельно расположенных несущих вант



жесткая на изгиб диафрагма

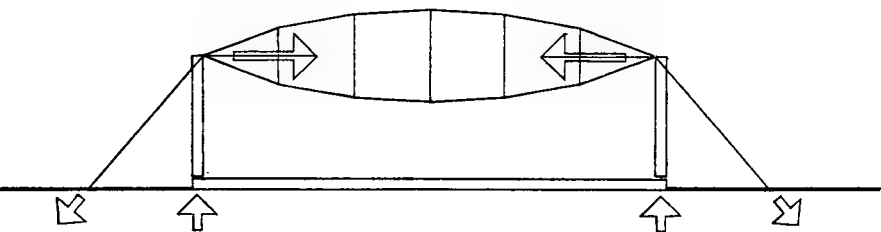
горизонтальный несущий элемент

торцевая диафрагма

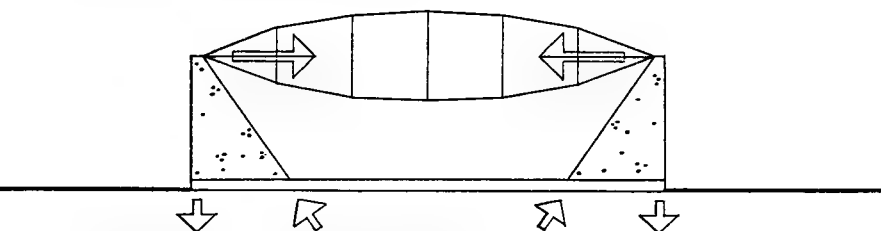


горизонтальный несущий элемент

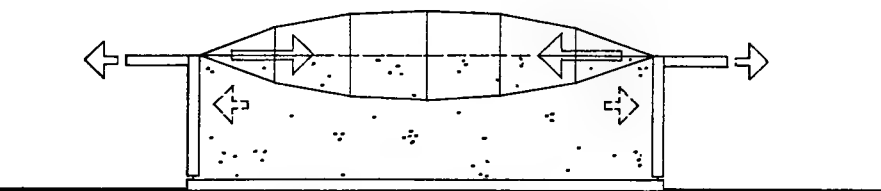
## ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОЧЕК ПОДВЕШИВАНИЯ



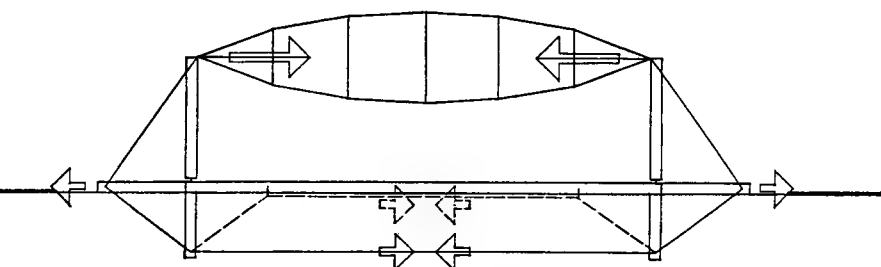
Оттяжка точек подвешивания с помощью анкерования ванта



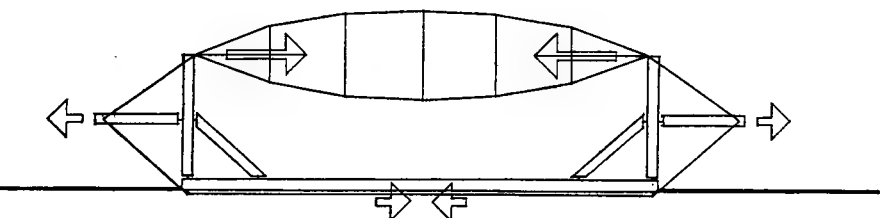
Отведение сил в точках подвешивания с помощью колонн или контрфорсов



Передача сил с помощью горизонтальной опоры на поперечные стены или сжатые опоры



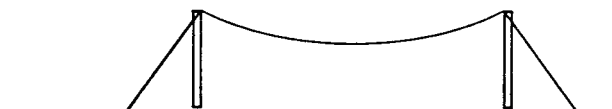
Оттяжка ванта с помощью силового ввода анкерной стяжки под фундаментной плитой пола



Оттяжка и крепление подкосами с помощью силового ввода анкерной стяжки внутрь плиты пола или под нее

## КОНСТРУКЦИЯ ТОЧЕК ПОДВЕШИВАНИЯ

формоактивные

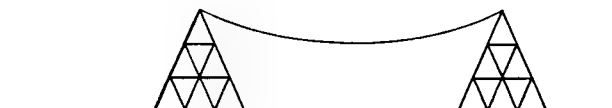


опора с наклонной вантой



наклонные опоры и ванта

активные по вектору

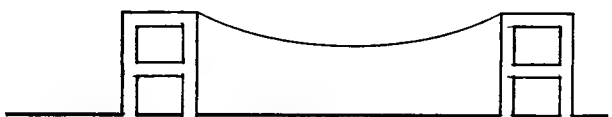


каркасный пилон

активные по сечению



закрепленные опоры



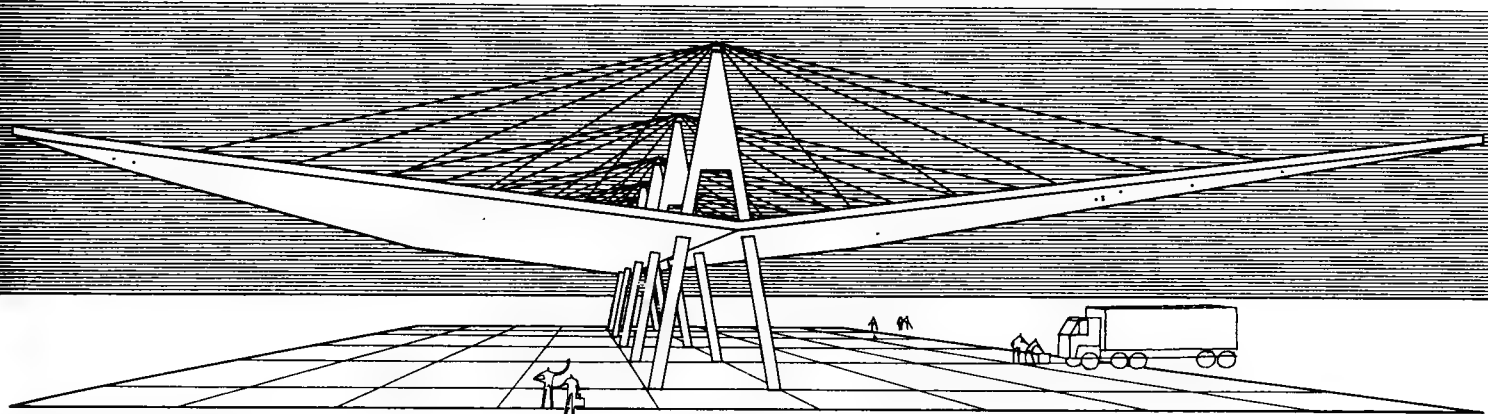
жесткие на изгиб рамы

активные по поверхности рамы



диафрагмы-пилоны

# ПРОСТЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ НАГРУЗКИ ОТ КРЫШИ

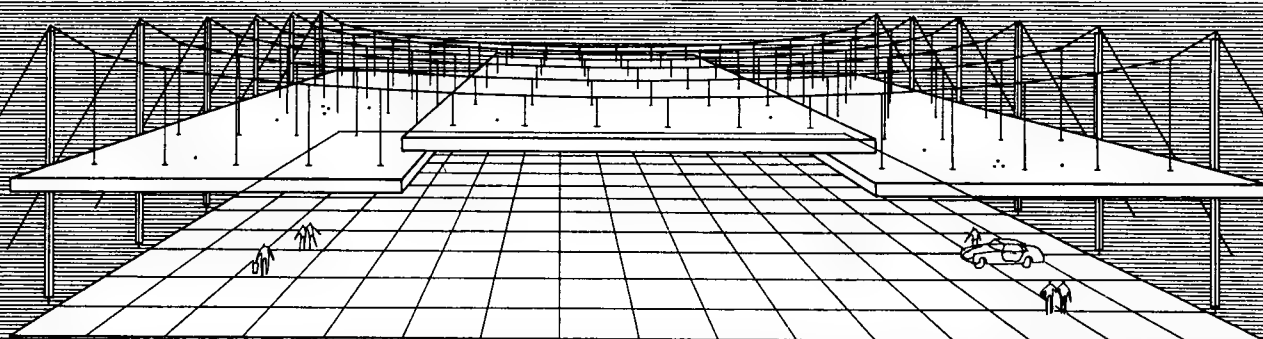
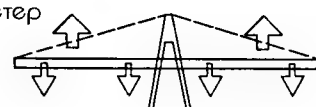


непосредственное навешивание  
от центрального пилона

собственный вес

ветер

несущий и стабили-  
зирующий механизм

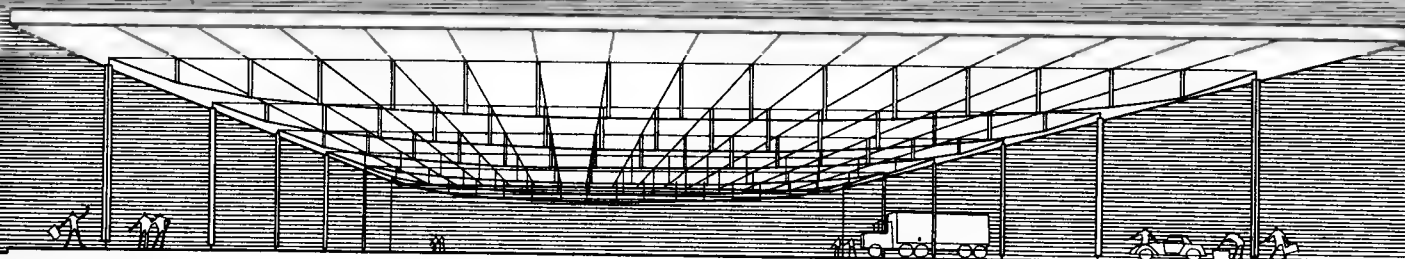
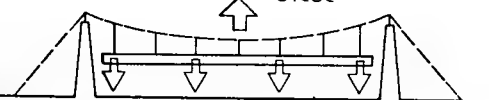
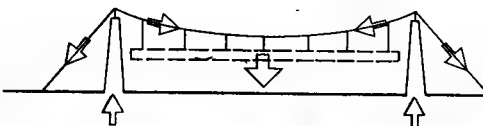


крыша, подвешенная  
на несущих вантах

собственный вес

отсос

несущий и стабили-  
зирующий механизмы

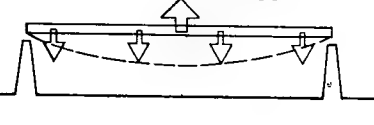
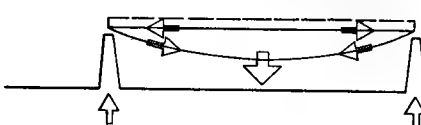


крыша, опирающаяся  
на несущие ванты

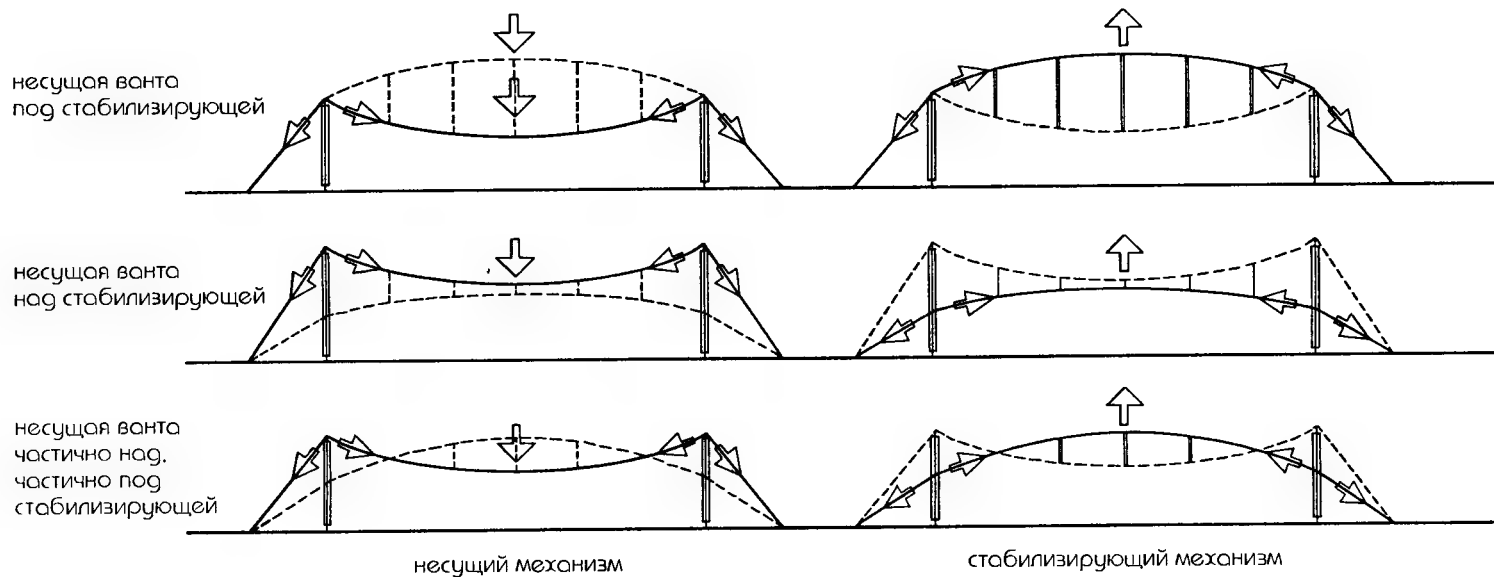
собственный вес

отсос

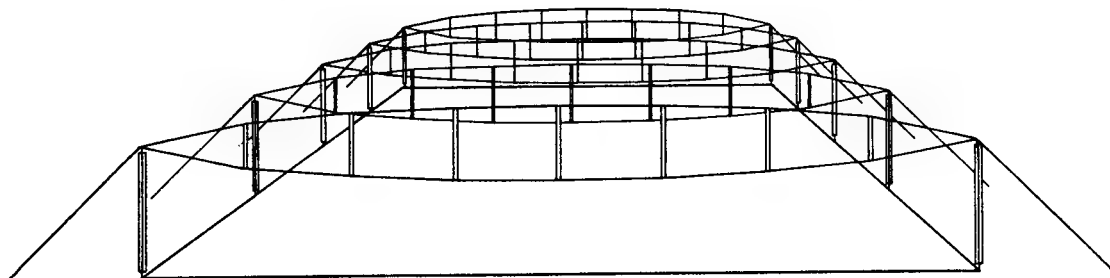
несущий и стабили-  
зирующий механизмы



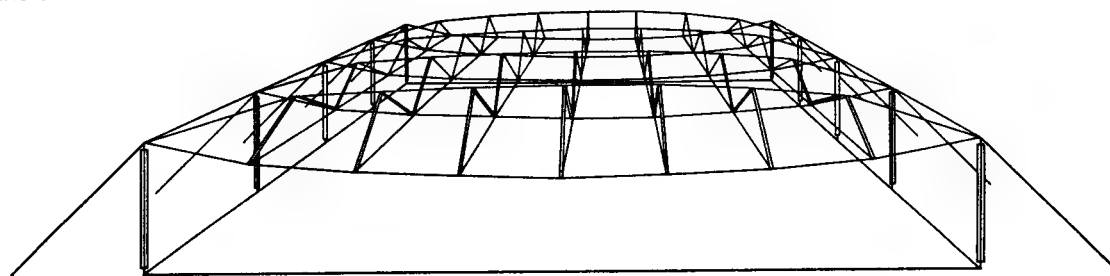
# НЕСУЩИЙ И СТАБИЛИЗИРУЮЩИЙ МЕХАНИЗМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СИСТЕМ



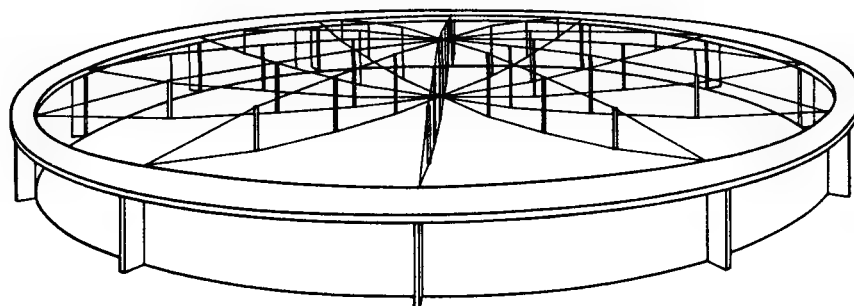
## СИСТЕМЫ С ОДИНАКОВО НАПРАВЛЕННЫМИ СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ И НЕСУЩИМИ ВАНТАМИ



плоская параллельная система



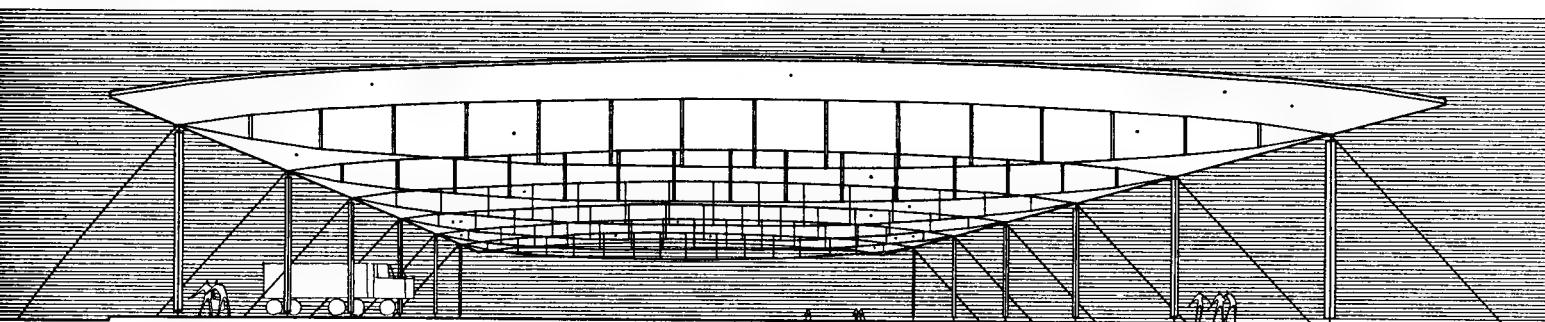
смещенная параллельная система



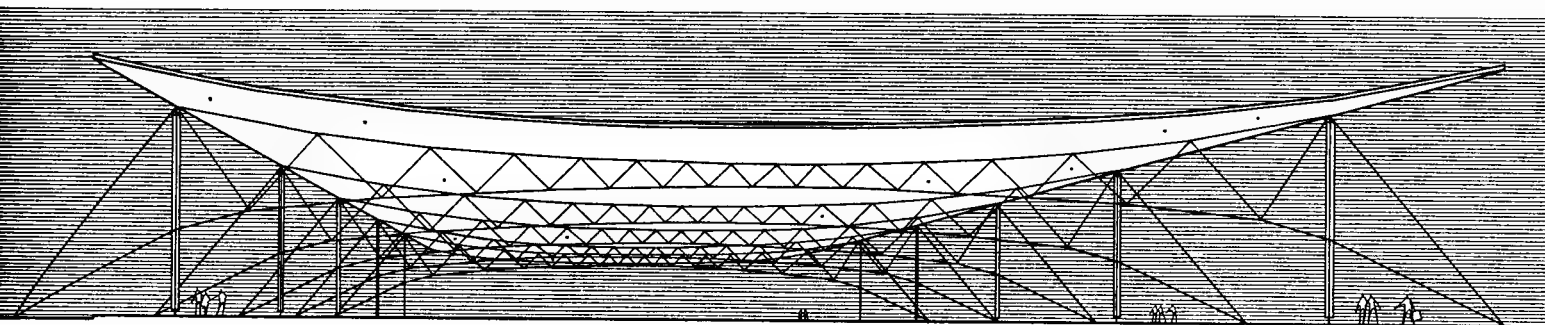
плоская вращающаяся система

## ПЛОСКИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПОСРЕДСТВОМ РАСТЯЖКИ

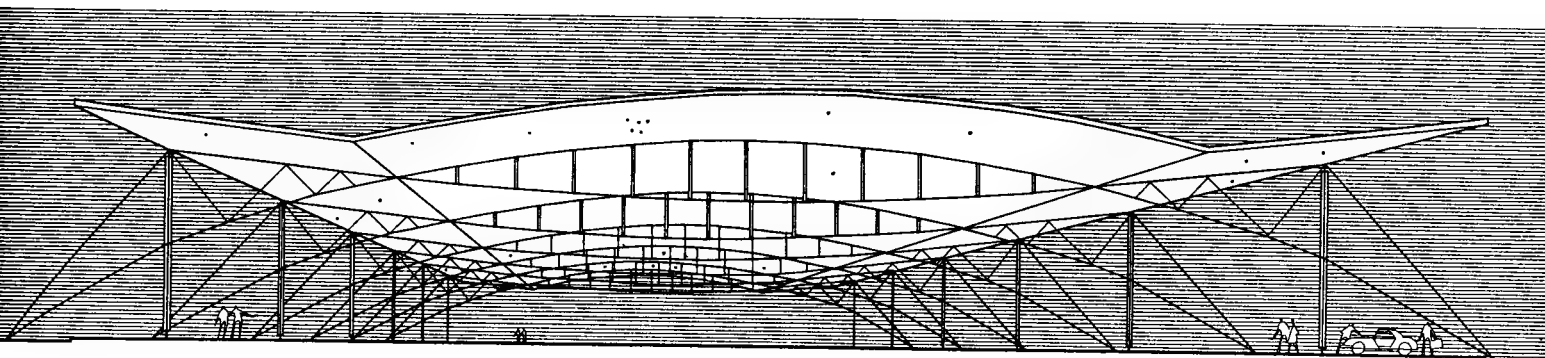
несущая ванта и стабилизирующая ванта  
в одной плоскости



стабилизирующая ванта  
над несущей



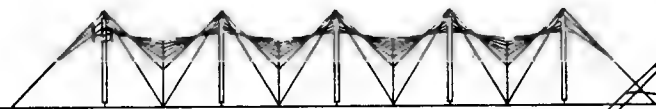
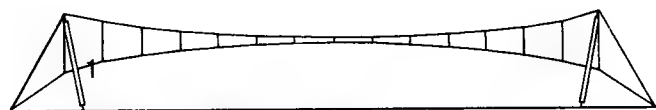
стабилизирующая ванта  
под несущей



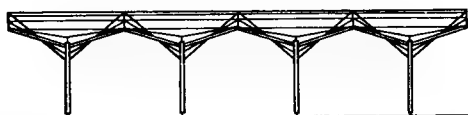
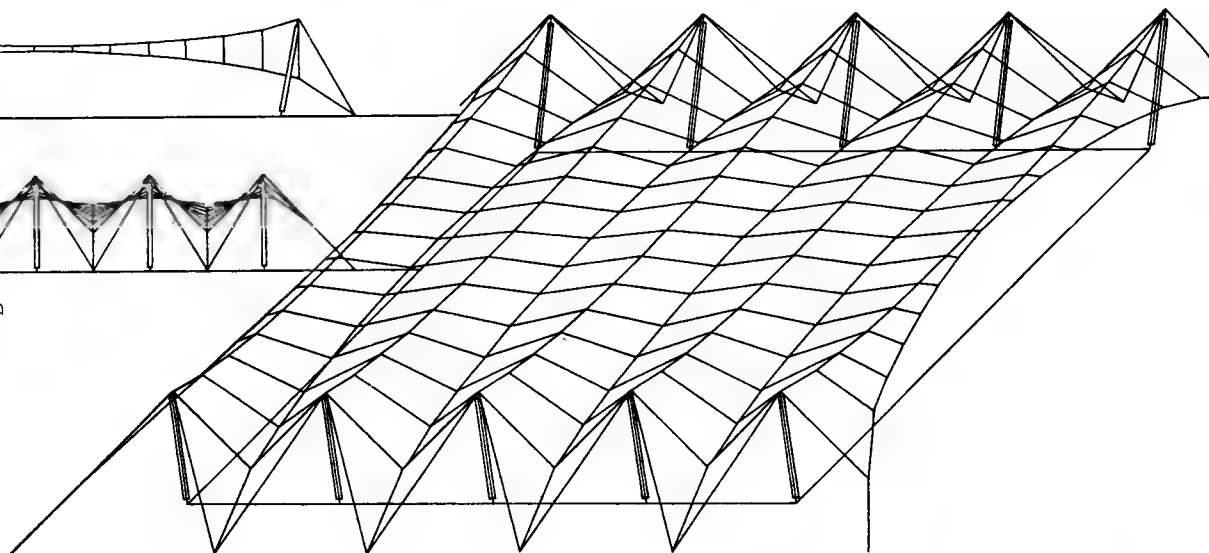
стабилизирующая ванта частично над,  
частично под несущей

СМЕЩЕННЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПОСРЕДСТВОМ РАСТЯЖКИ

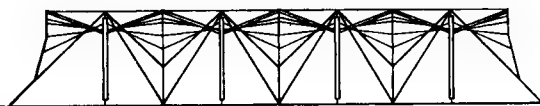
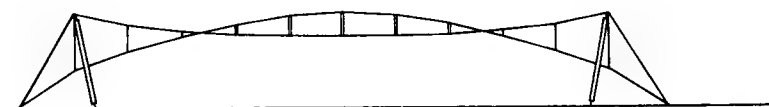
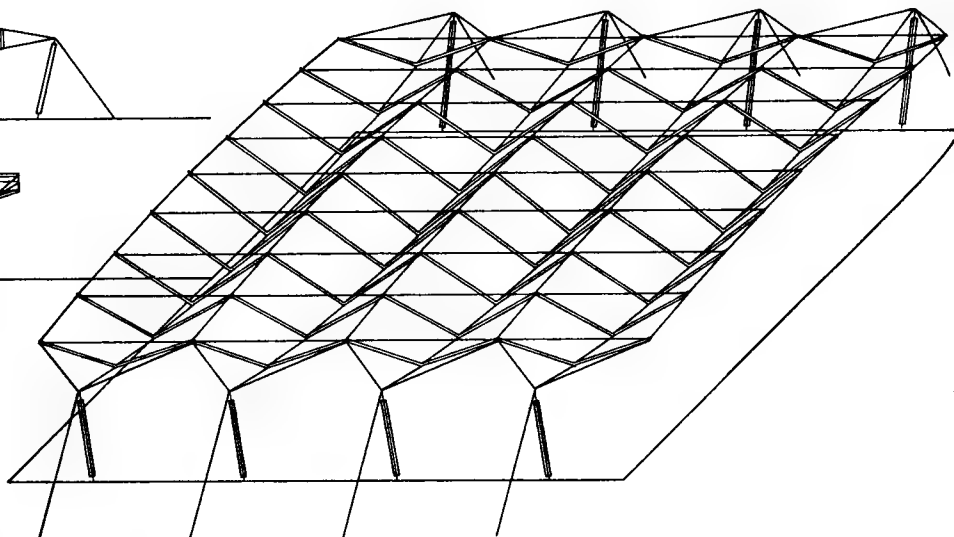
НЕСУЩАЯ И СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ВАНТЫ  
В РАЗНЫХ ПЛОСКОСТЯХ



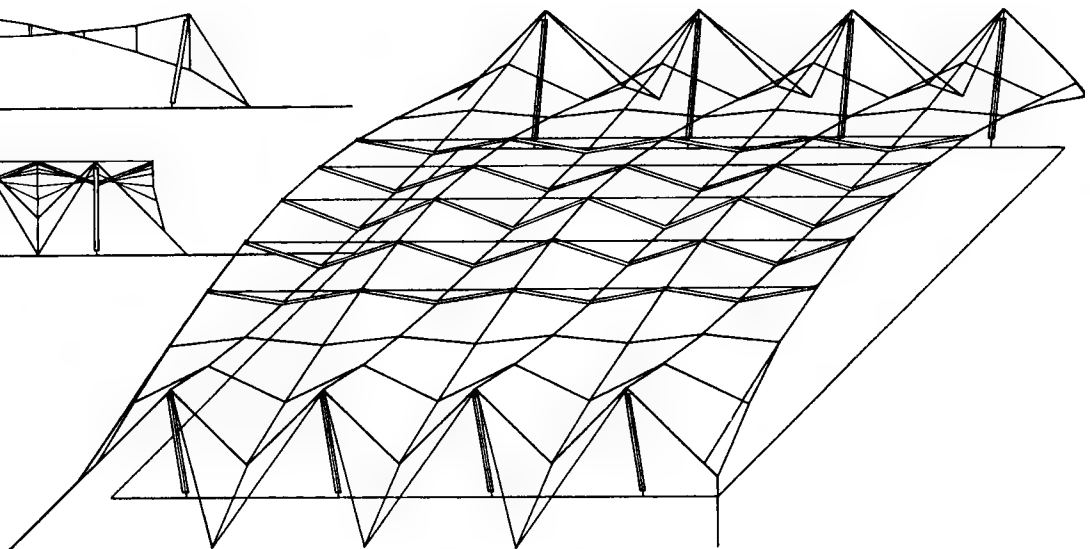
стабилизирующая ванта  
под несущей



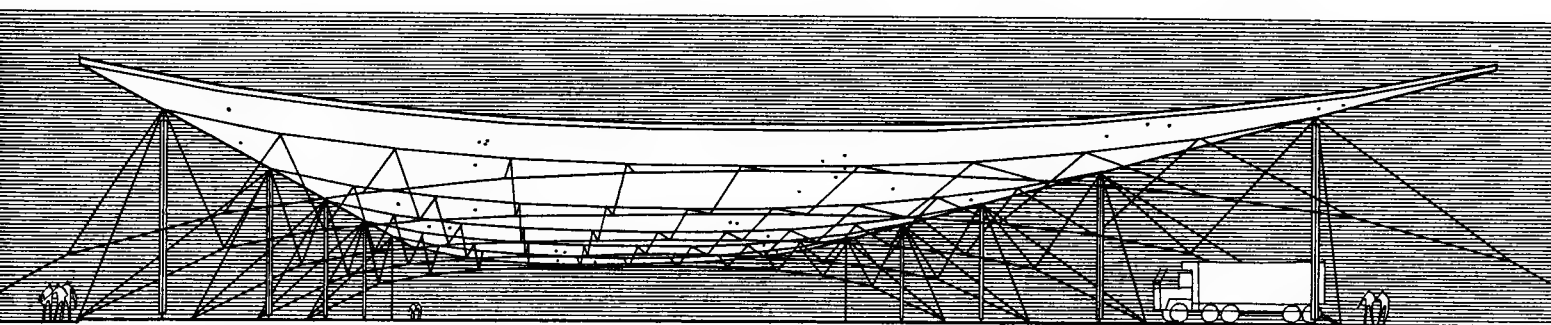
стабилизирующая ванта  
над несущей



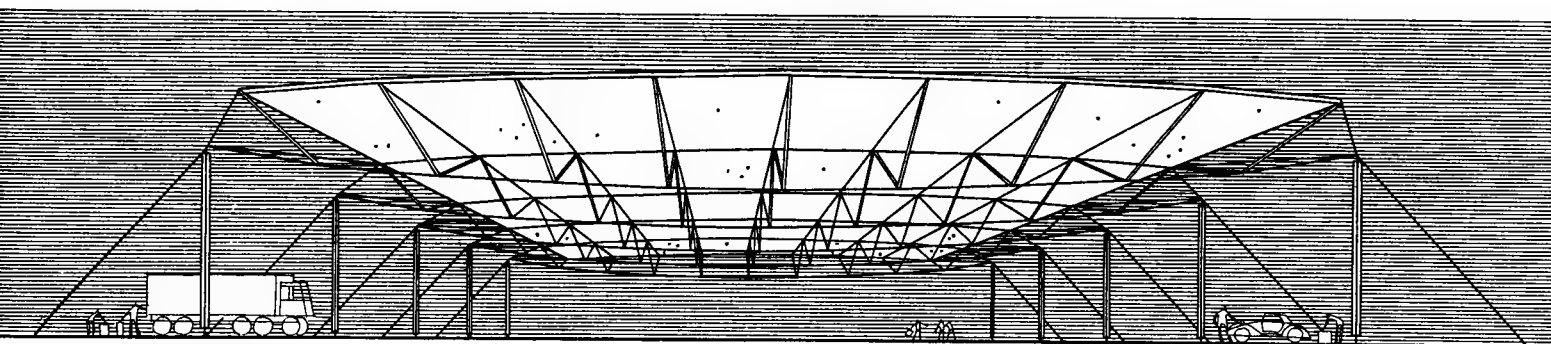
стабилизирующая ванта частично  
над, частично под несущей





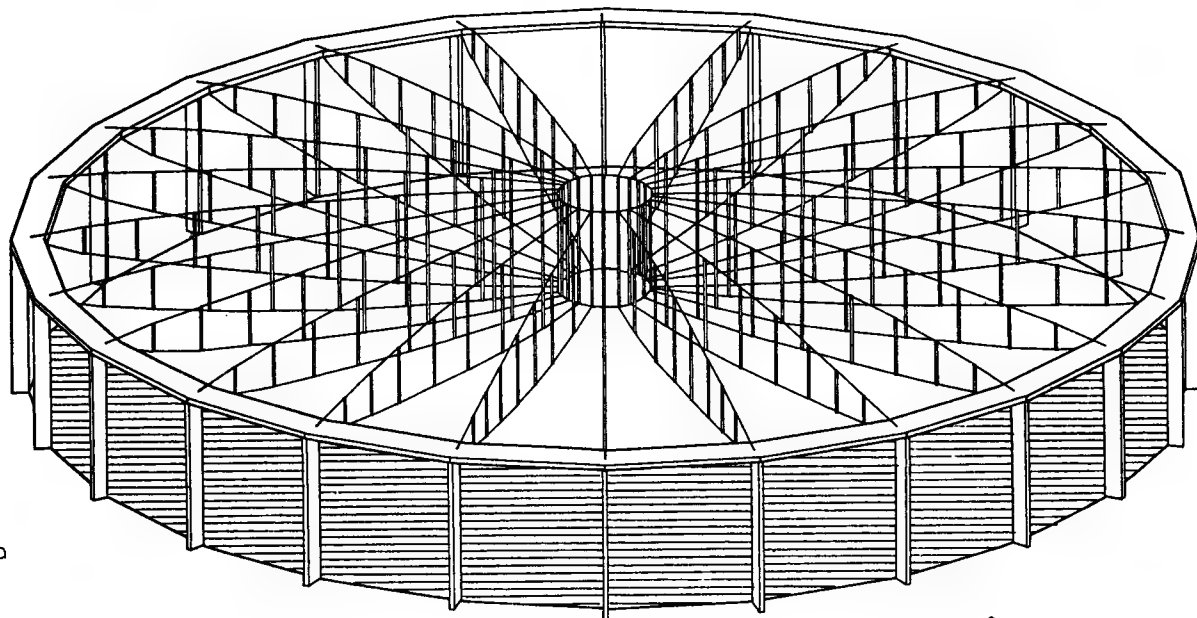


стабилизирующая ванта  
под несущей



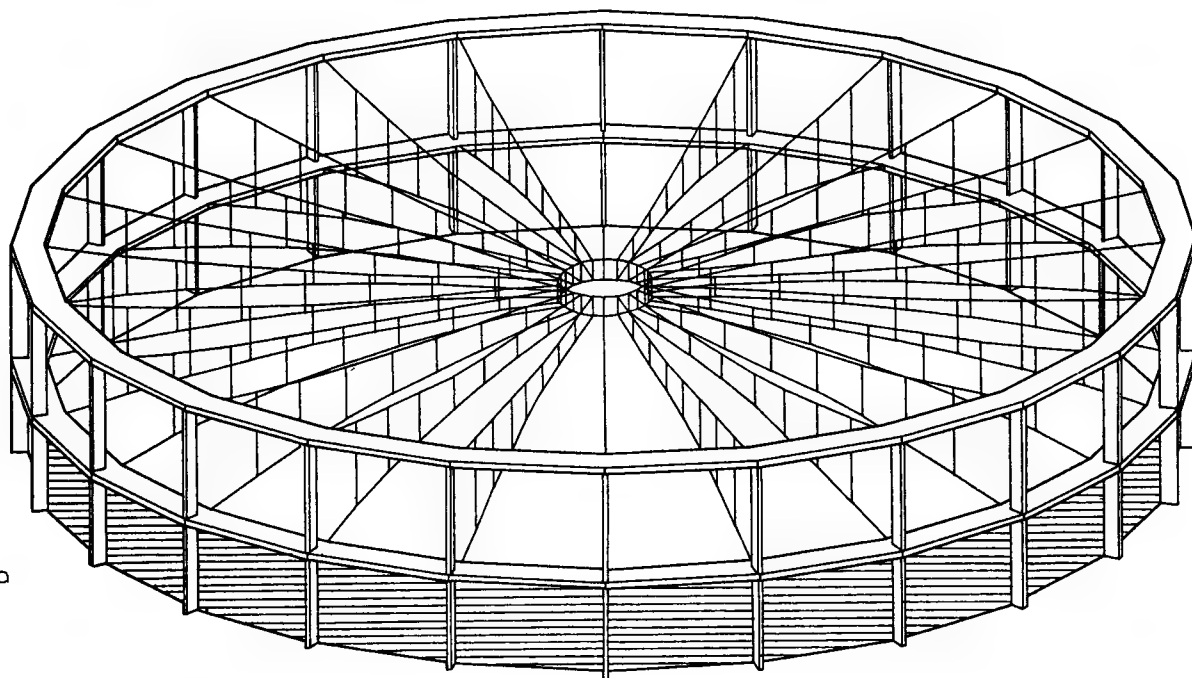
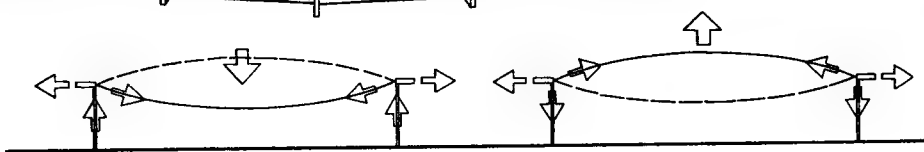
стабилизирующая ванта  
под несущей

## ПЛОСКИЕ РАДИАЛЬНЫЕ (ВРАЩАЮЩИЕСЯ) СИСТЕМЫ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ВАНТОЙ



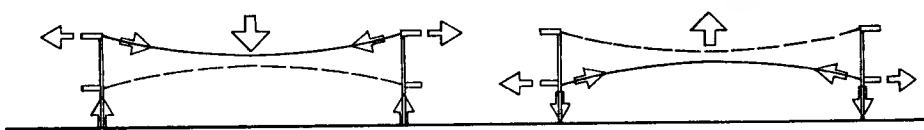
стабилизирующая ванто  
над несущей

несущий и стабилизи-  
рующий механизмы



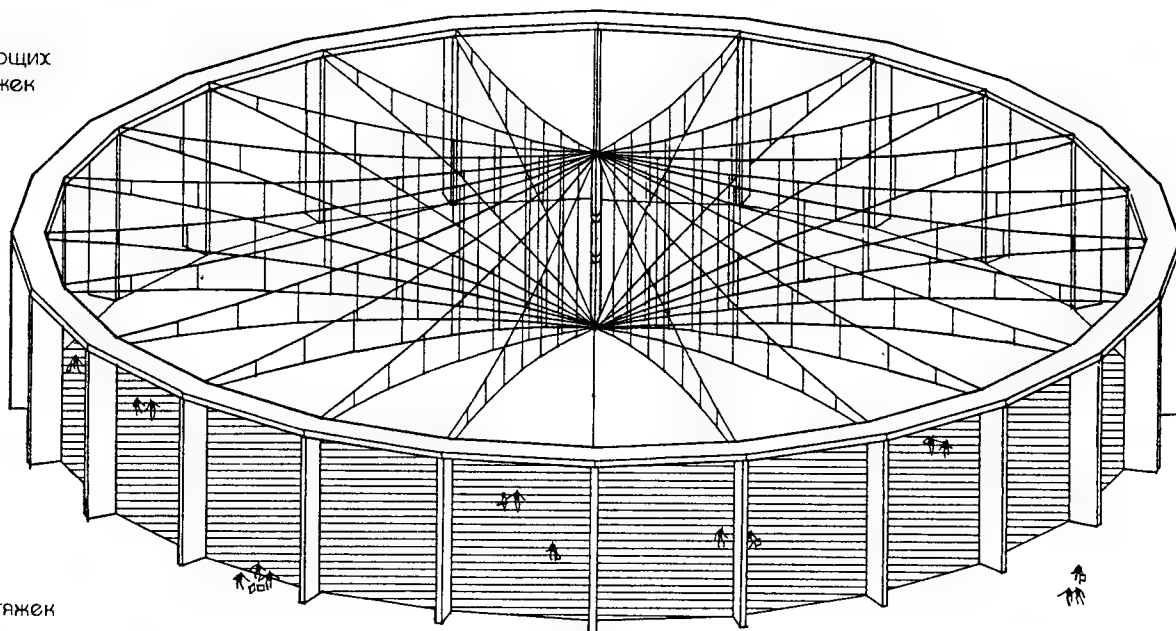
стабилизирующая ванто  
под несущей

несущий и стабилизи-  
рующий механизмы



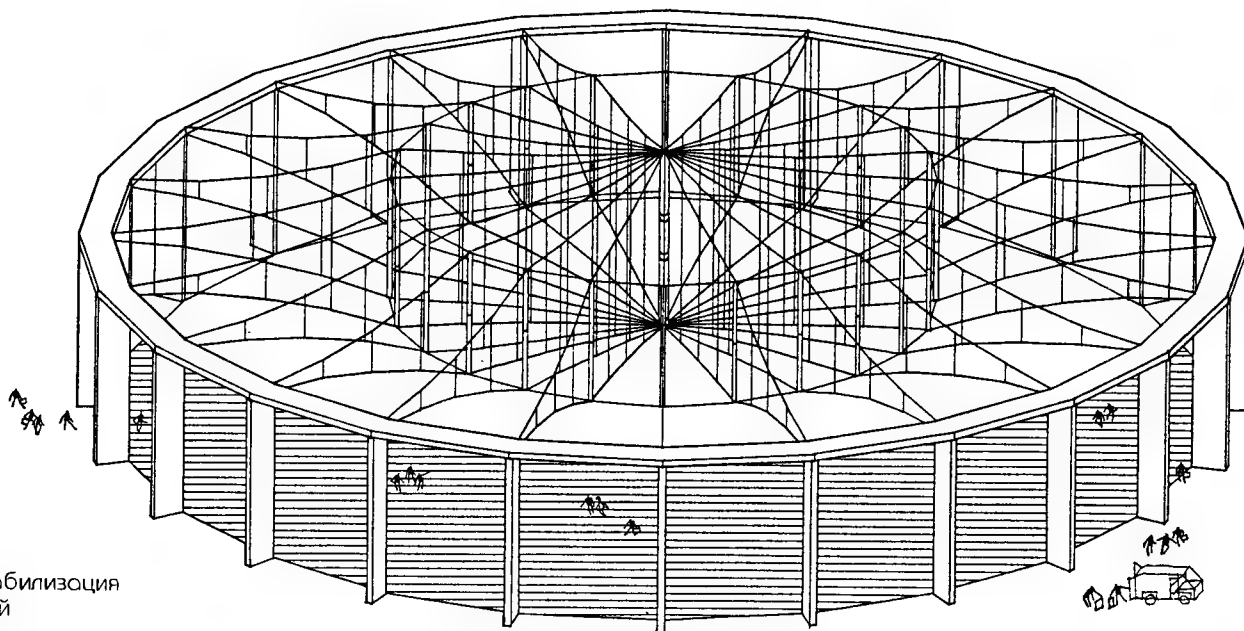
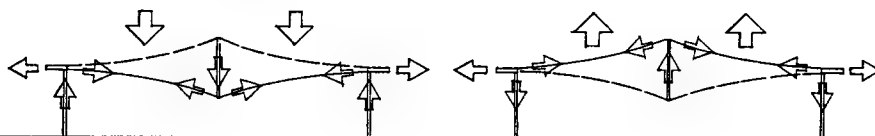
## РАДИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С МЕНЯЮЩЕЙСЯ ТЕХНИКОЙ НАТЯЖЕНИЯ

Комбинация стабилизирующих  
распорного стержня и стяжек

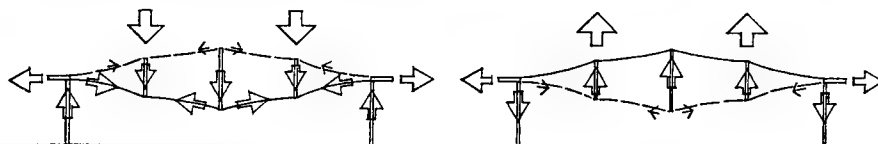


Стабилизация с помощью  
центральной распорки и стяжек

С помощью комбинации стяж-  
ко-распорки обеих функцио-  
нальных вант решается четкое  
расположение как несущей,  
так и стабилизирующей вант.

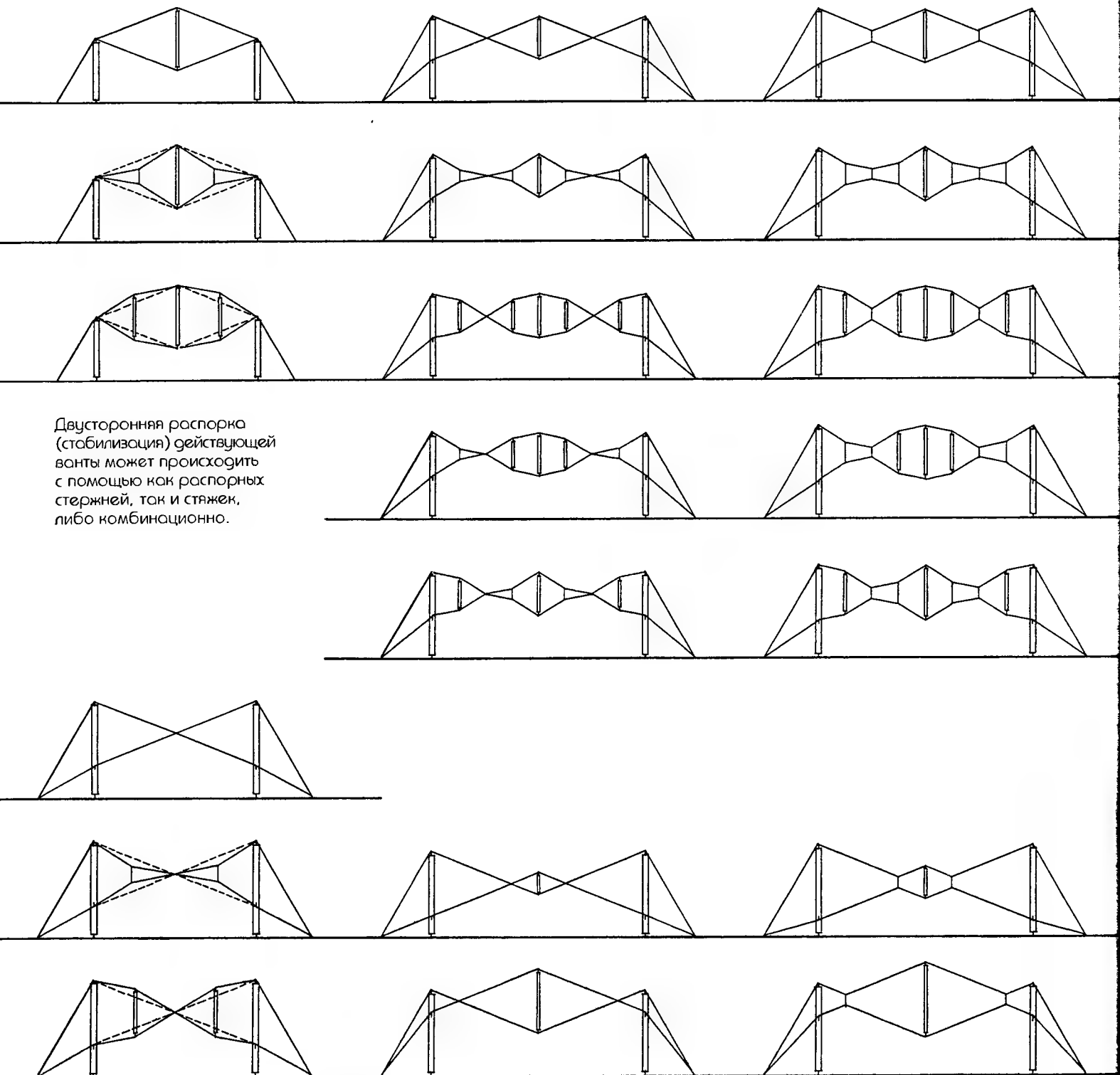


Тройная вантовая стабилизация  
со стяжкой-распоркой



## СИСТЕМЫ ШПРЕНГЕЛЕЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕСУЩИХ ВАНТ

КОМБИНАЦИИ РАСПОРНЫХ СЕРЖНЕЙ И СТЯЖЕК

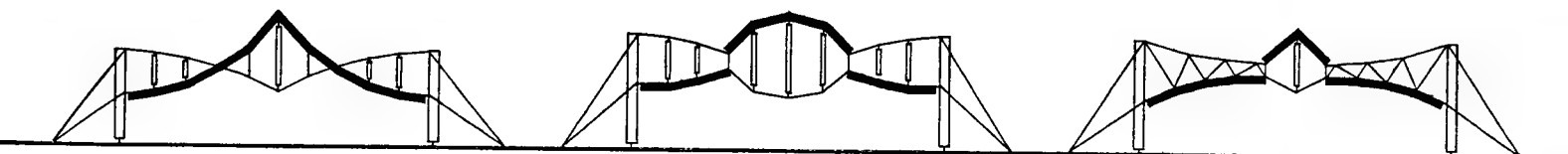
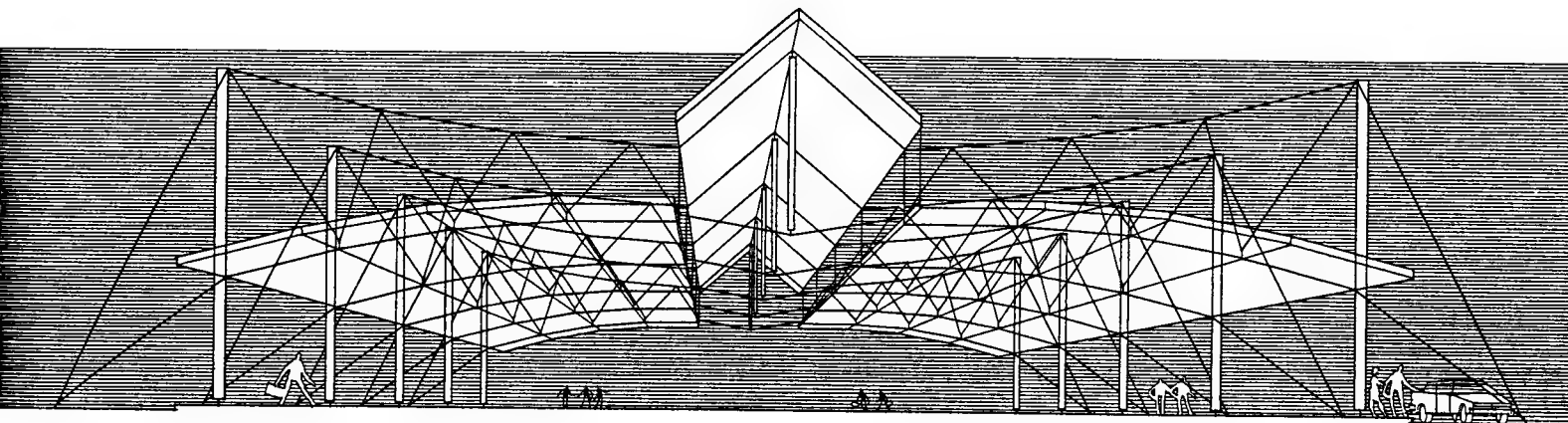
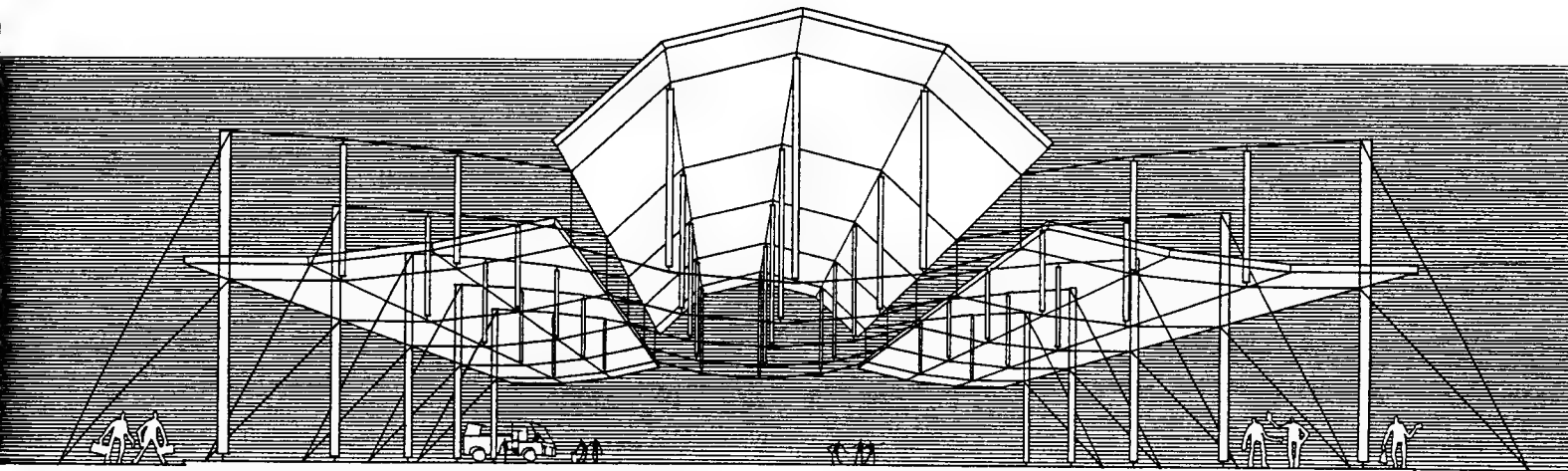
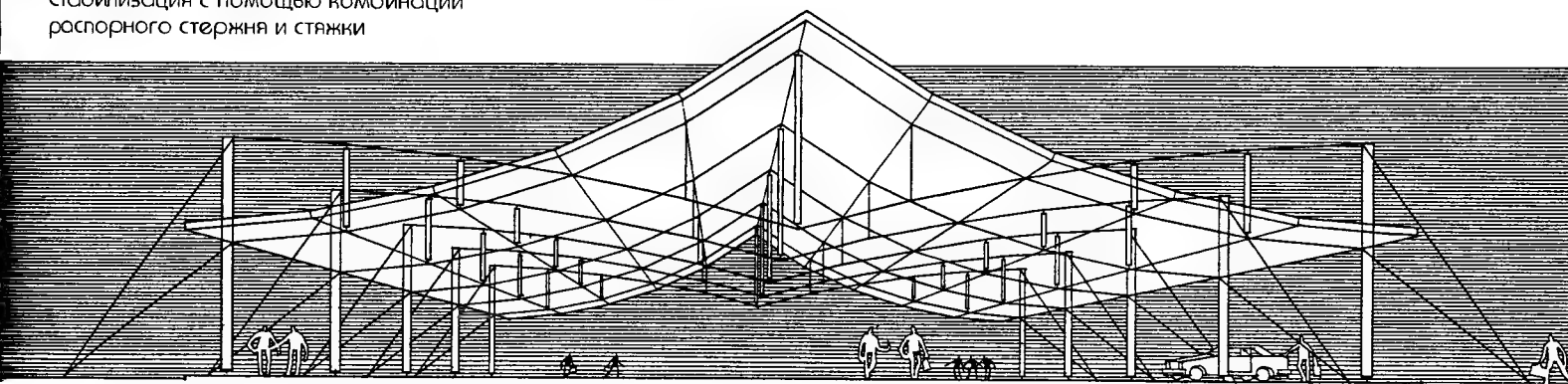


Двусторонняя распорка (стабилизация) действующей ванты может происходить с помощью как распорных стержней, так и стяжек, либо комбинационно.

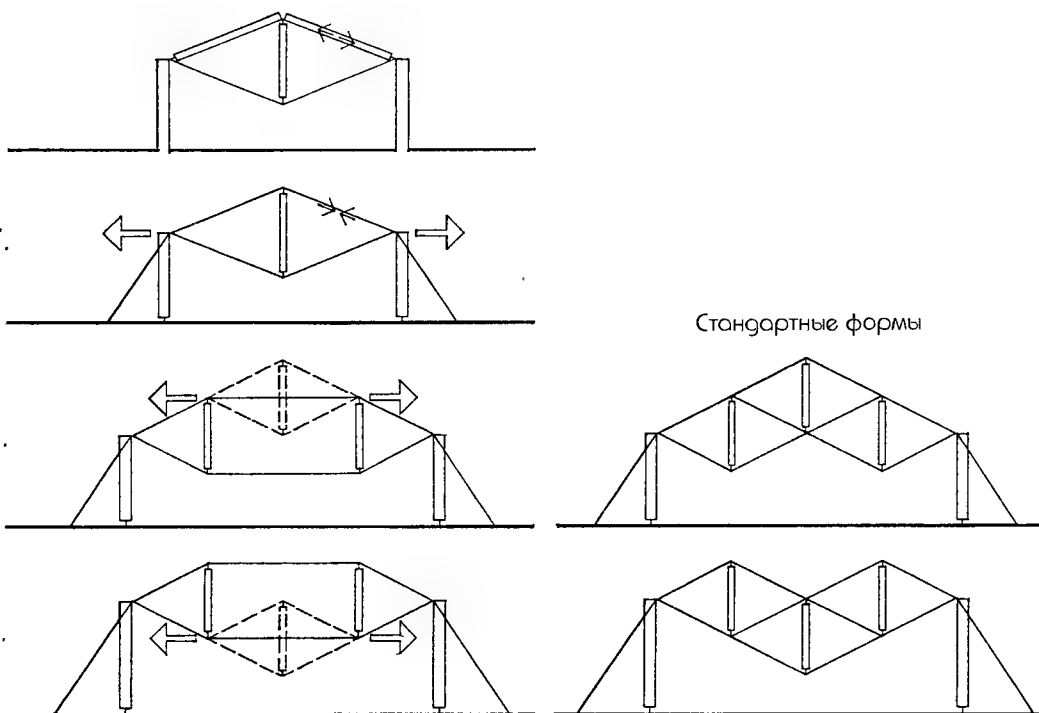
Благодаря использованию и распорных стержней, и стяжек решается вопрос определенного расположения несущих вант.

## ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С МЕНЯЮЩЕЙСЯ ТЕХНИКОЙ РАСПОРОВ

Стабилизация с помощью комбинации  
распорного стержня и стяжки



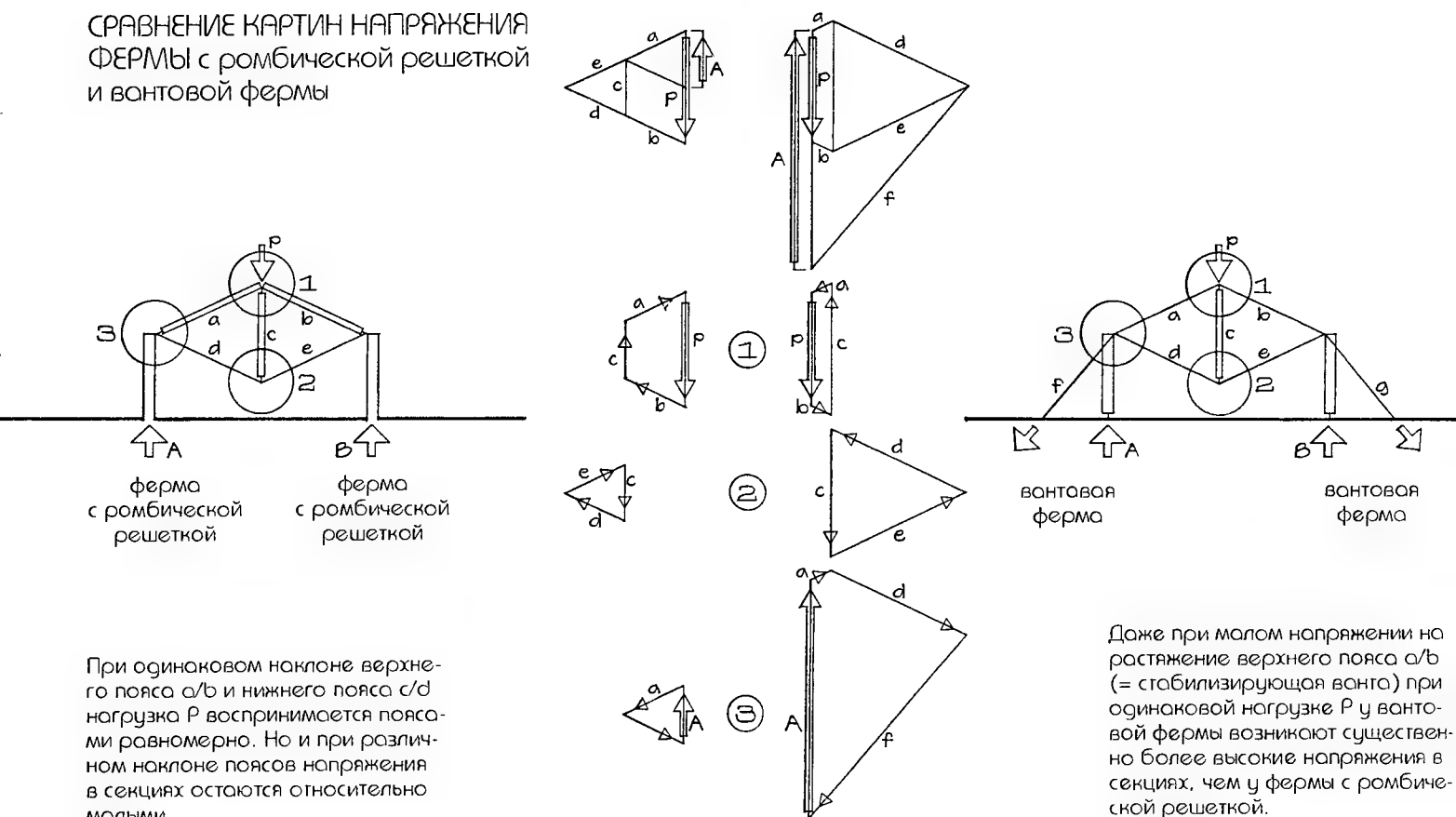
## РАЗВИТИЕ ВАНТОВОЙ ФЕРМЫ НА БАЗЕ РОМБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ



Благодаря появлению противостоящих горизонтальных сил (например, оттяжки) верхние пояса не подвергаются большому напряжению на сжатие, а испытывают напряжение на растяжение. Поэтому они могут быть сформированы в виде вант: **ВАНТОВЫЕ ФЕРМЫ**.

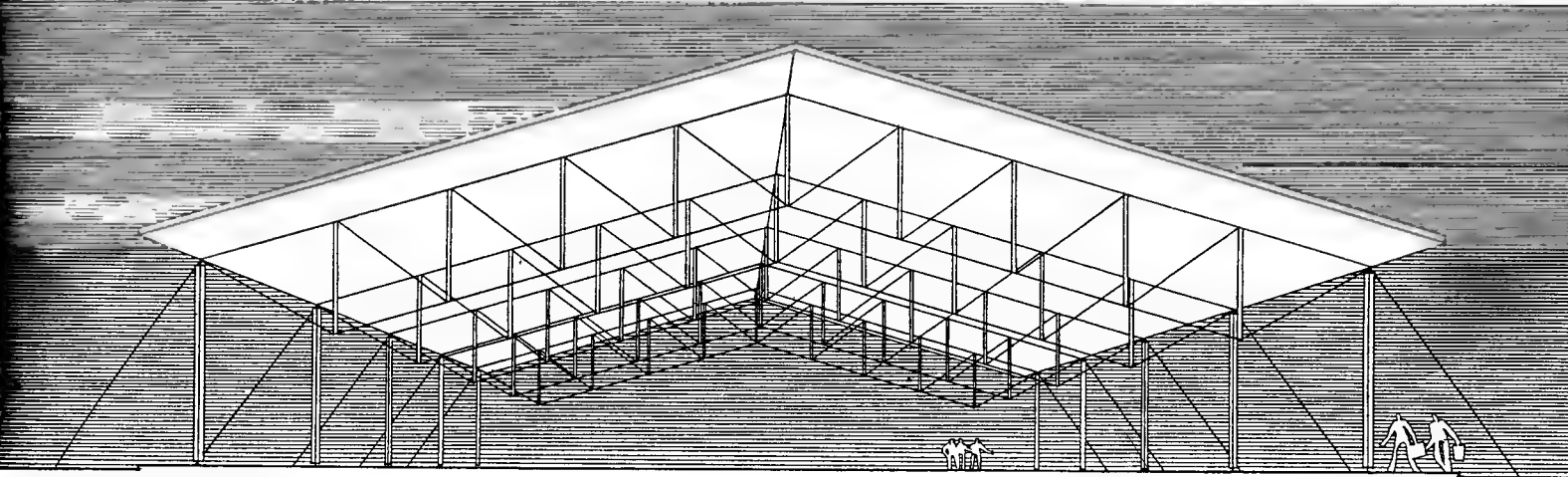
Механика восприятия нагрузки основана на соединении отдельных нагруженных элементов, причем нагрузки ступенчато передаются дальше на опоры. Верхние пояса не участвуют в этом процессе. Они служат только для расчливания и стабилизации.

## СРАВНЕНИЕ КАРТИН НАПРЯЖЕНИЯ ФЕРМЫ с ромбической решеткой и вантовой фермы

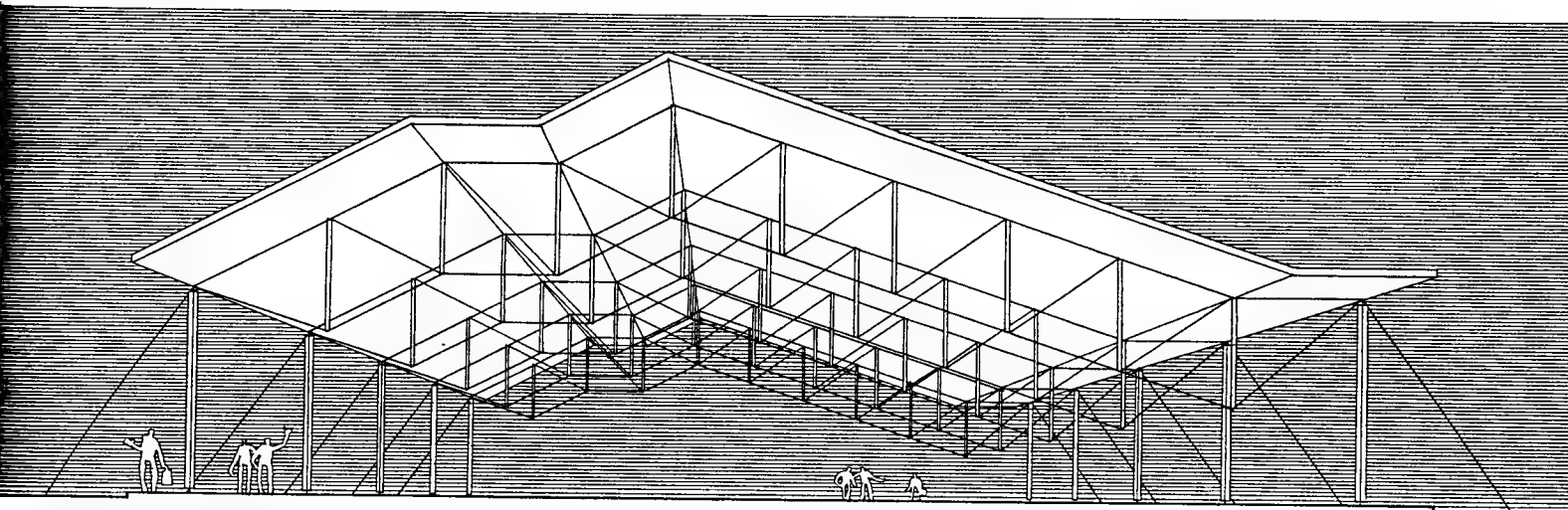


Даже при малом напряжении на растяжение верхнего пояса  $a/b$  (= стабилизирующая ванта) при одинаковой нагрузке  $P$  у вантовой фермы возникают существенно более высокие напряжения в секциях, чем у фермы с ромбической решеткой.

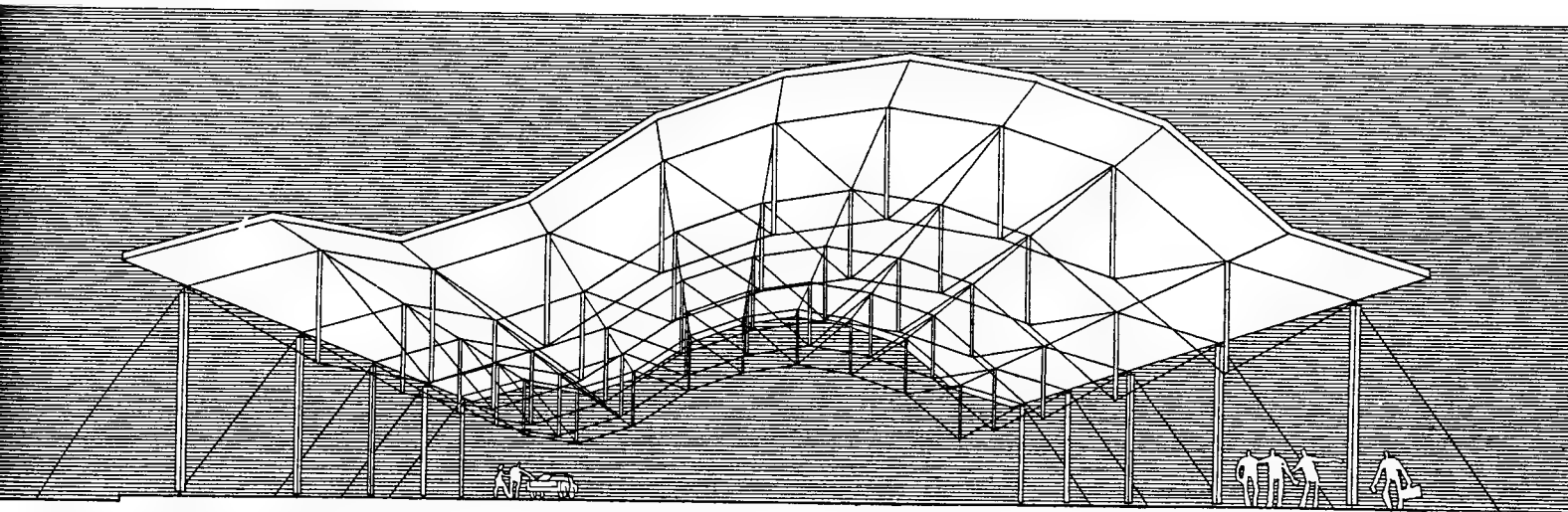
## ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ВАНТОВЫХ ФЕРМ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО



Прямая простая форма  
двускатной крыши

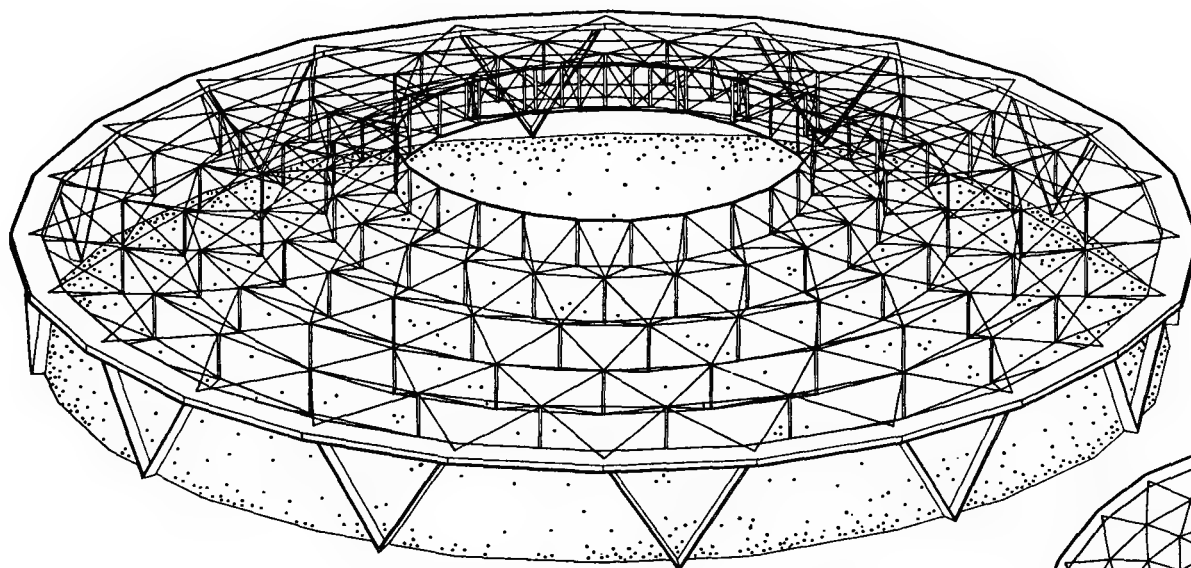


Асимметричная прямая  
форма двускатной крыши

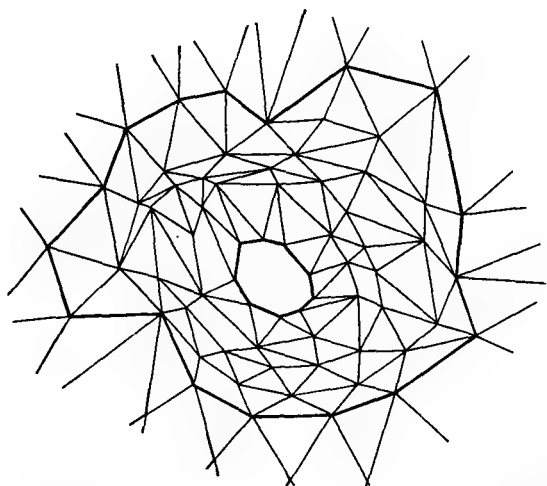
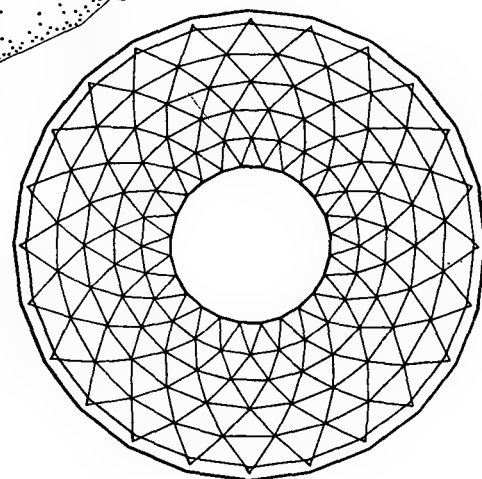


Полигональная (многоугольная)  
широкая свободная форма крыши

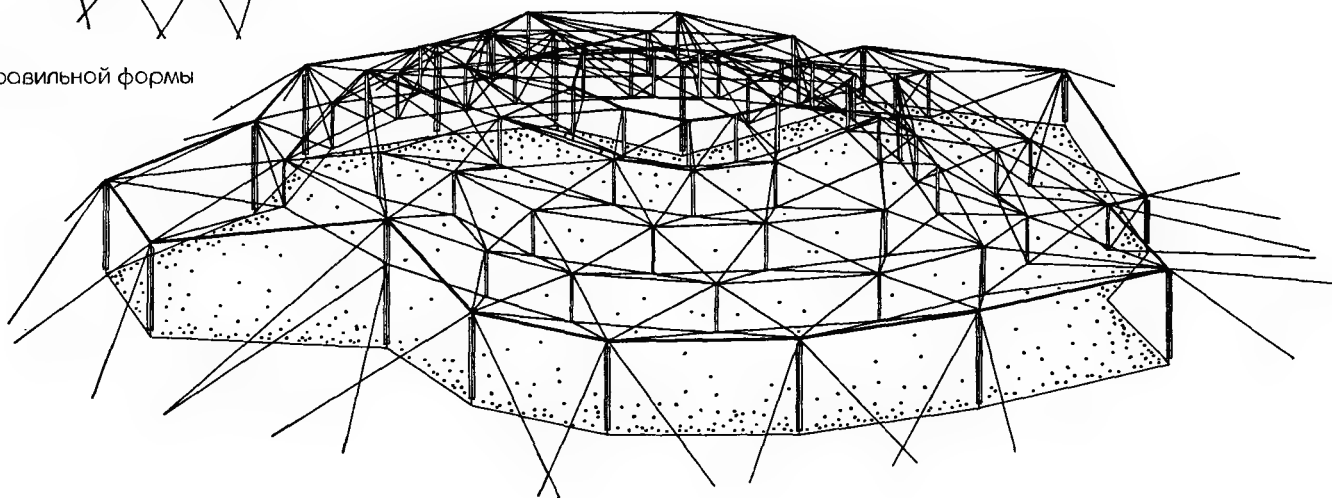
## СИСТЕМА КОЛЬЦЕВЫХ (КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ) ВАНТОВЫХ ФЕРМ С ПОВЫШЕНИЕМ К ЦЕНТРУ



План круглой формы



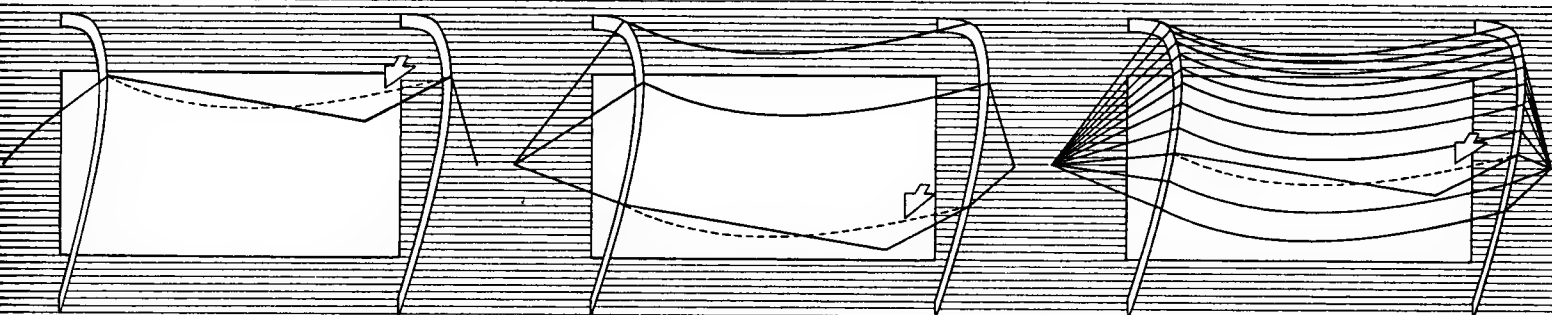
План неправильной формы



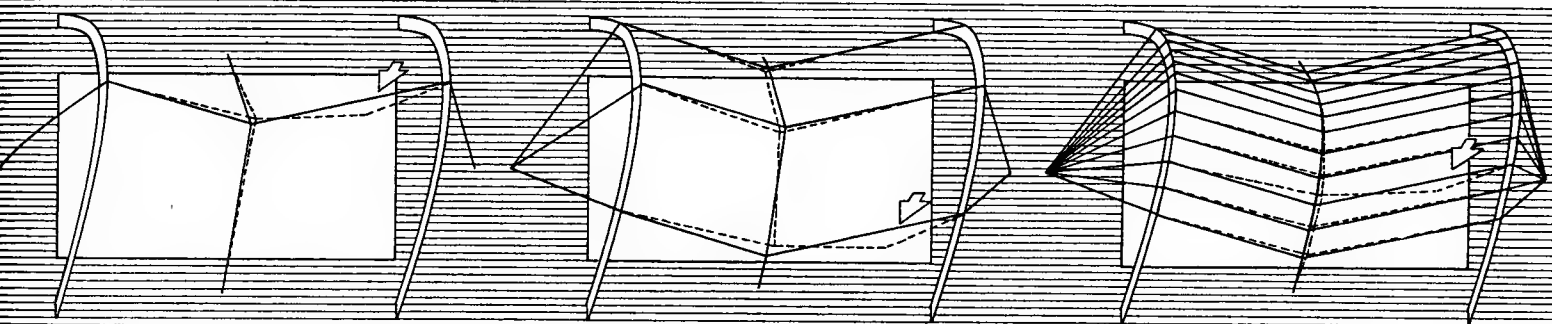


# ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ПОПЕРЕЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ВАНТАМИ

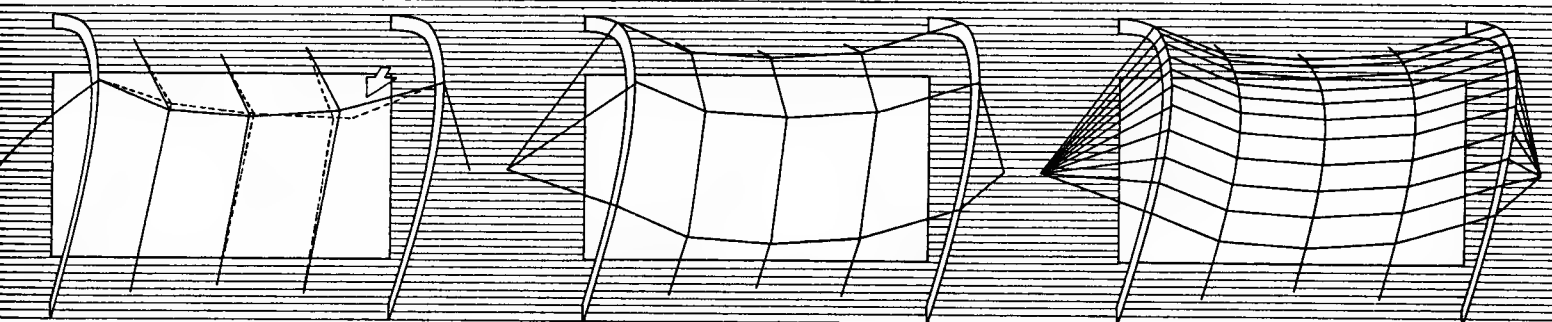
Превращение простых несущих вант в сетку, изогнутую в противоположную сторону.



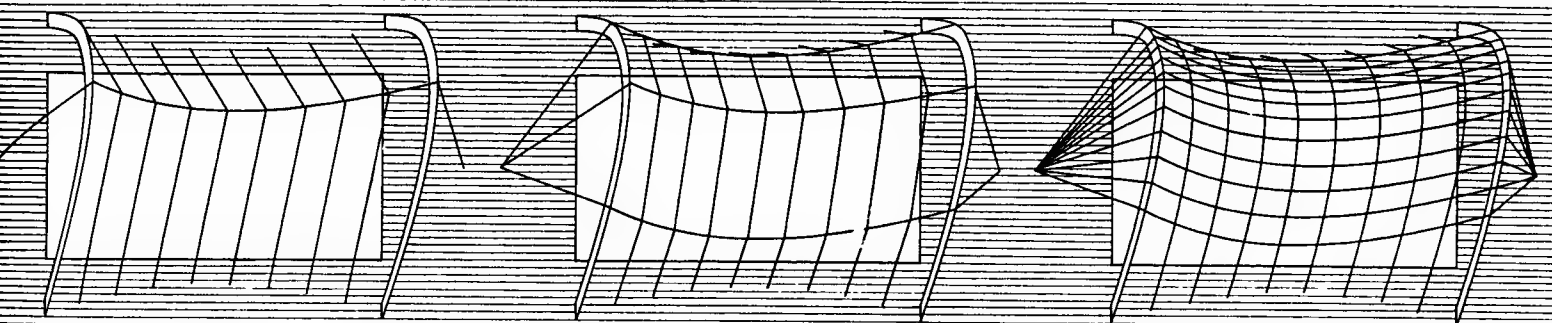
Одиночная нагрузка вызывает увеличение деформации, которая распространяется на задействованную ванту.



Расположенная поперек стабилизирующая ванта натягивает несущую ванту и препятствует увеличению деформации.



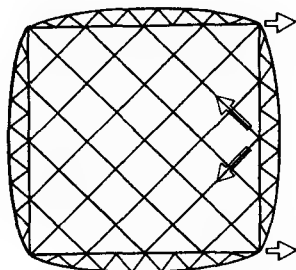
Увеличение числа стабилизирующих вант повышает силу сопротивления отдельным нагрузкам.



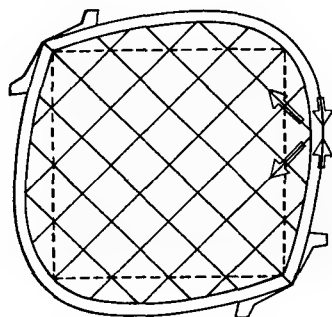
Все без исключения ванты участвуют в механизме сопротивления деформации.

## СИСТЕМЫ КРАЕВЫХ ОБРАЗУЮЩИХ С ДВОЯКОЙ КРИВИЗНОЙ

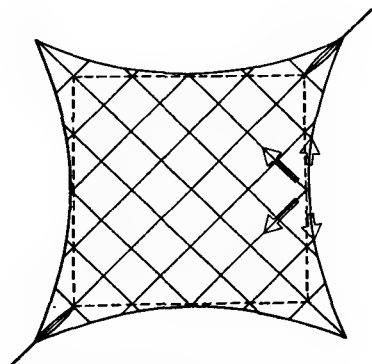
погашение распора на плане квадратной формы



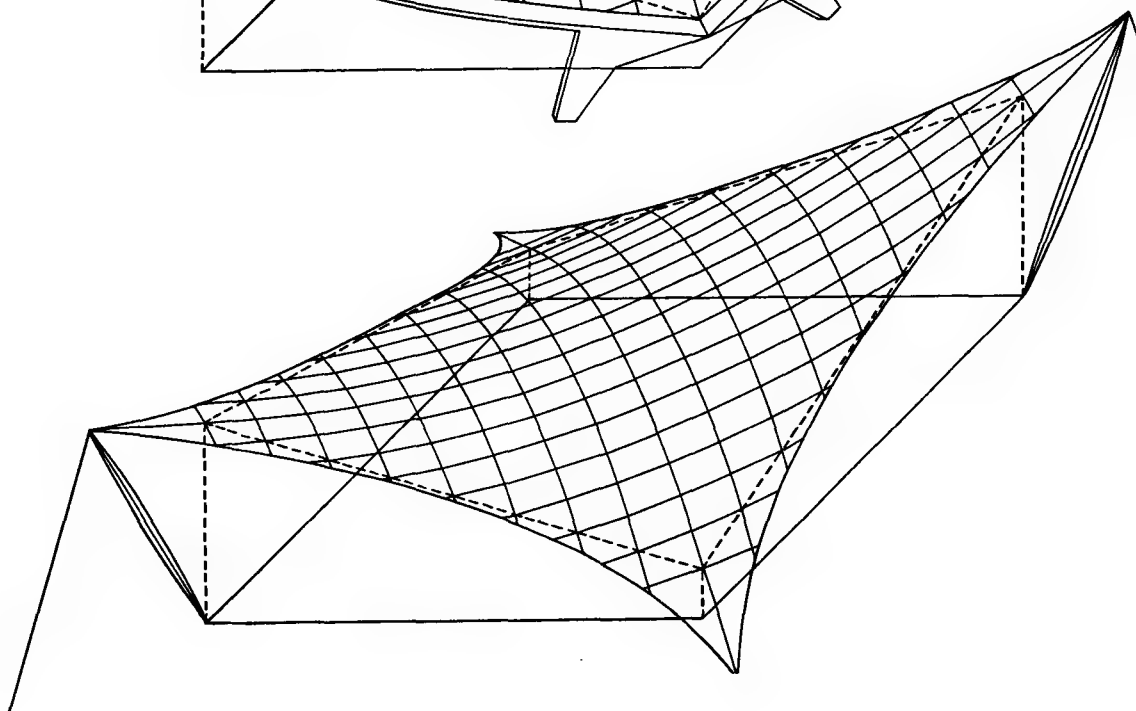
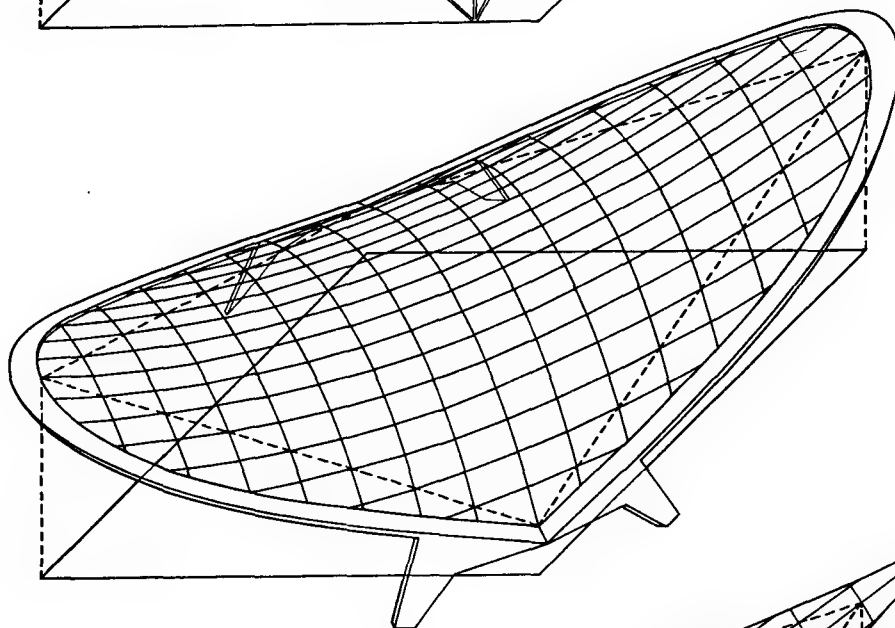
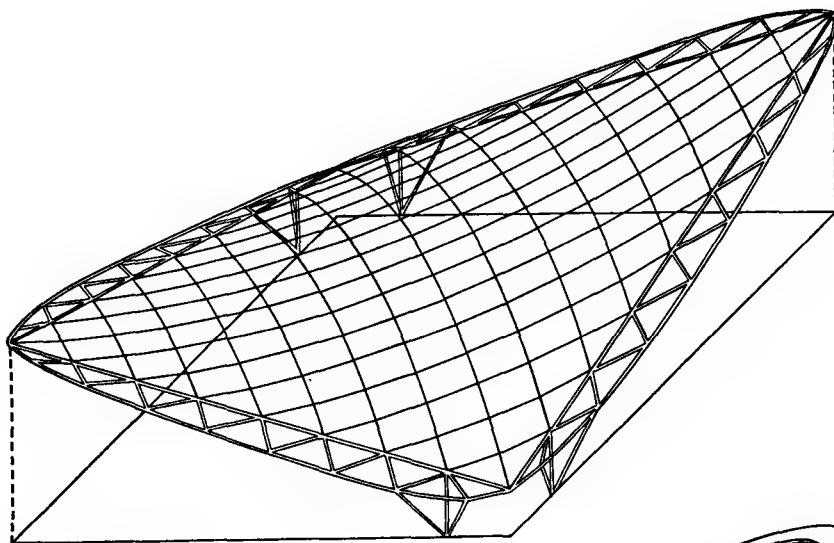
наклонные решетчатые балки на опорах



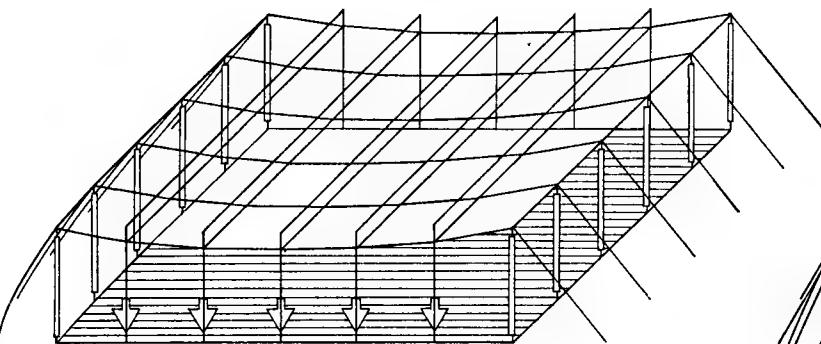
наклонные арочные контрфорсы на рамах



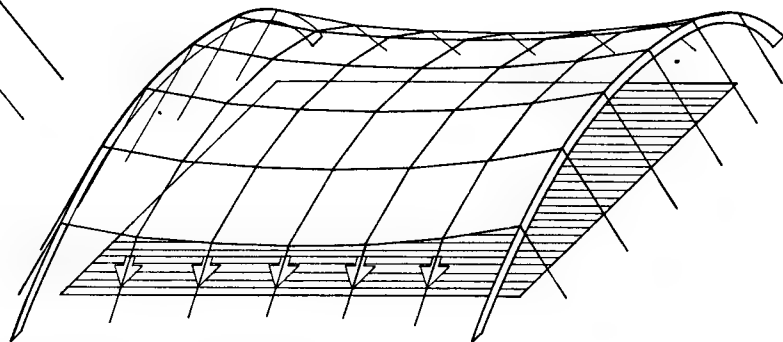
краевые ванты между пилонами



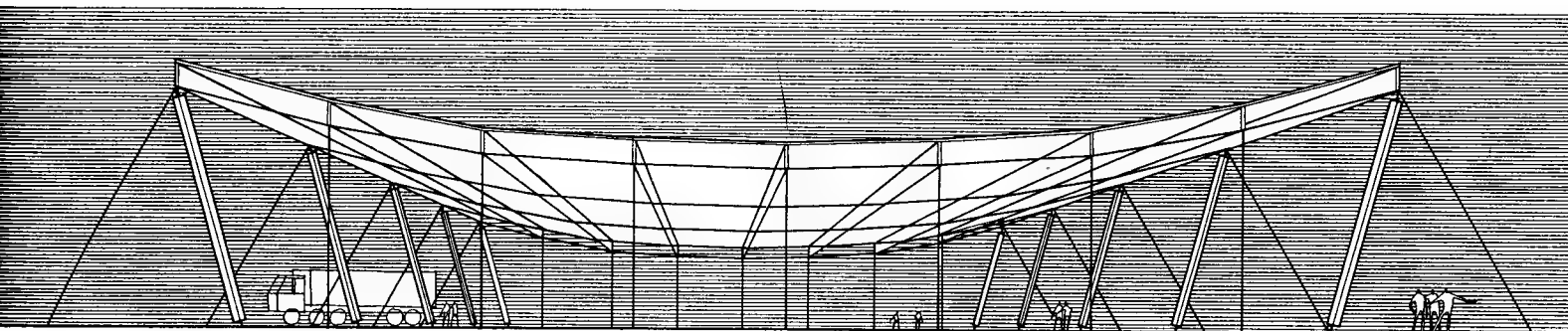
# ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ПОПЕРЕЧНО РАСПОЛОЖЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ



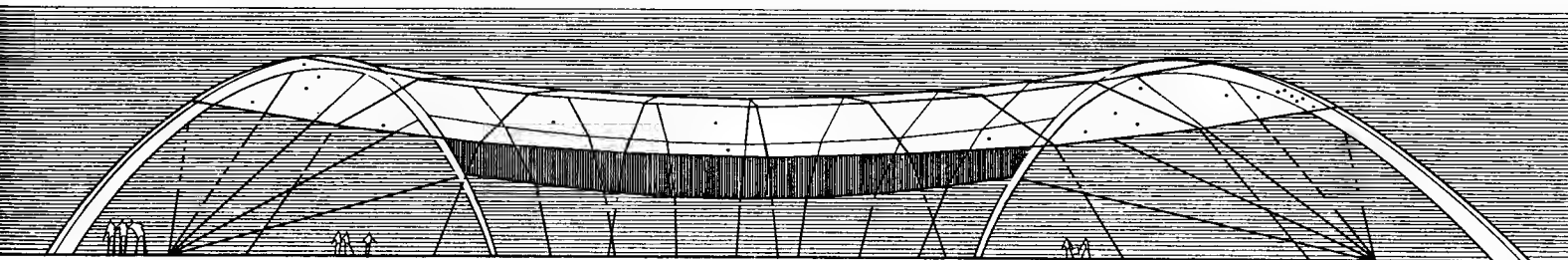
стабилизация посредством балки, работающей на изгиб, с анкерным закреплением в грунте



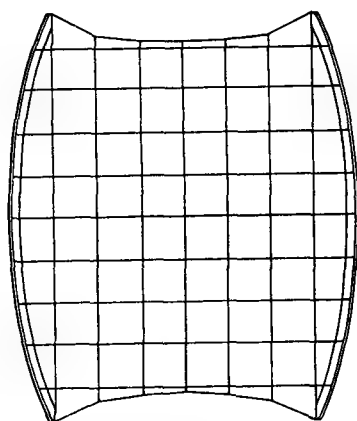
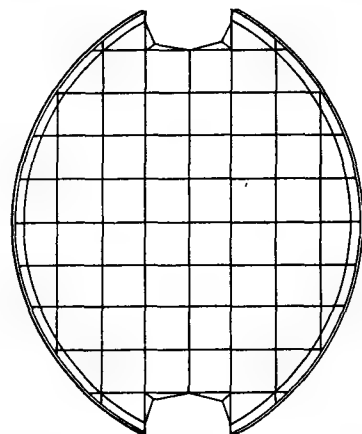
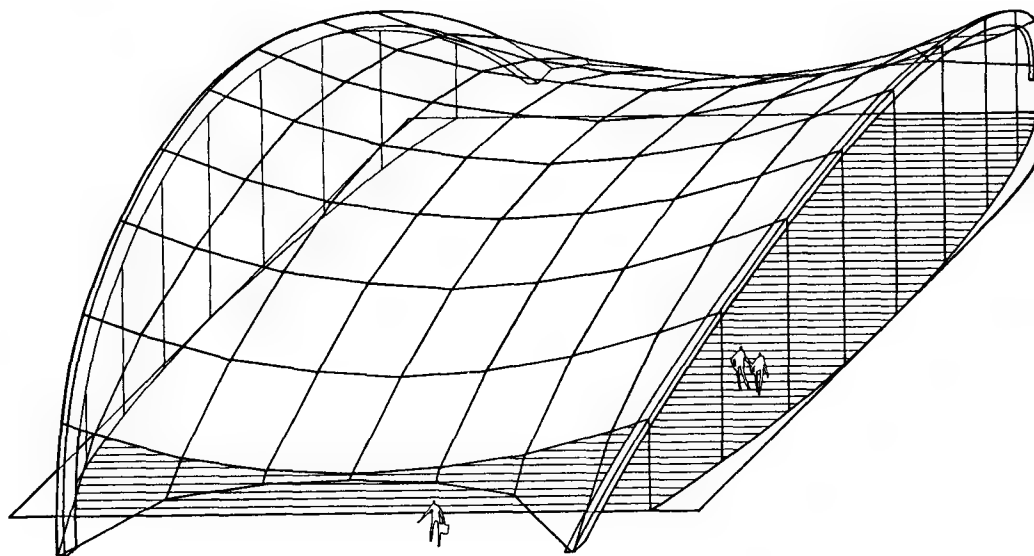
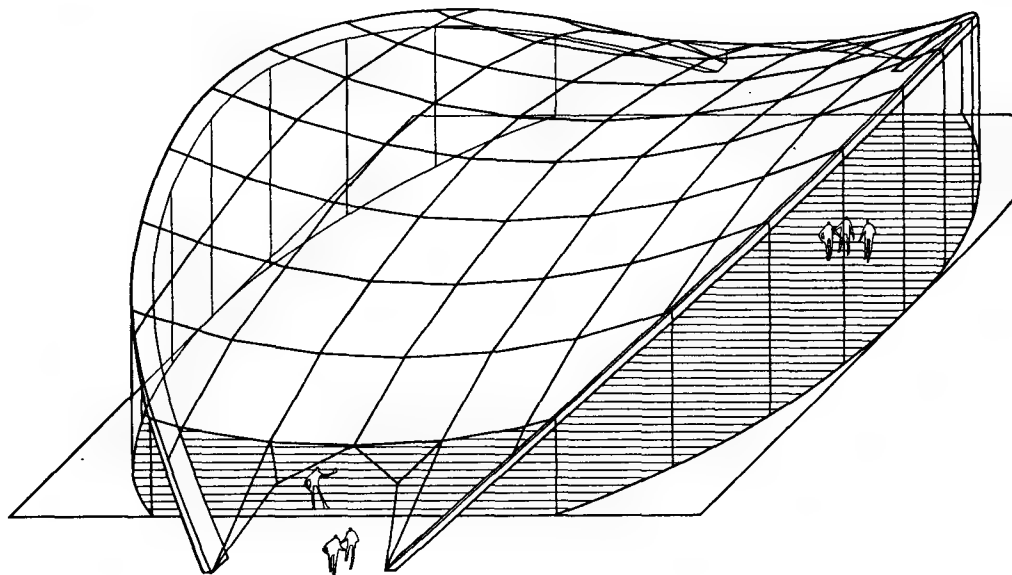
стабилизация посредством ванты с двоякой кривизной, с анкерным закреплением в грунте



система с поперечно расположенными стабилизирующими балками

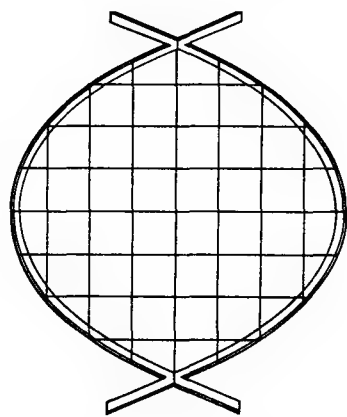


система с поперечно расположенными стабилизирующими вантовыми

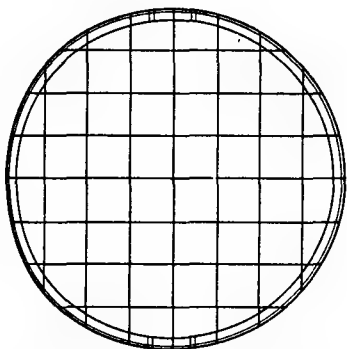
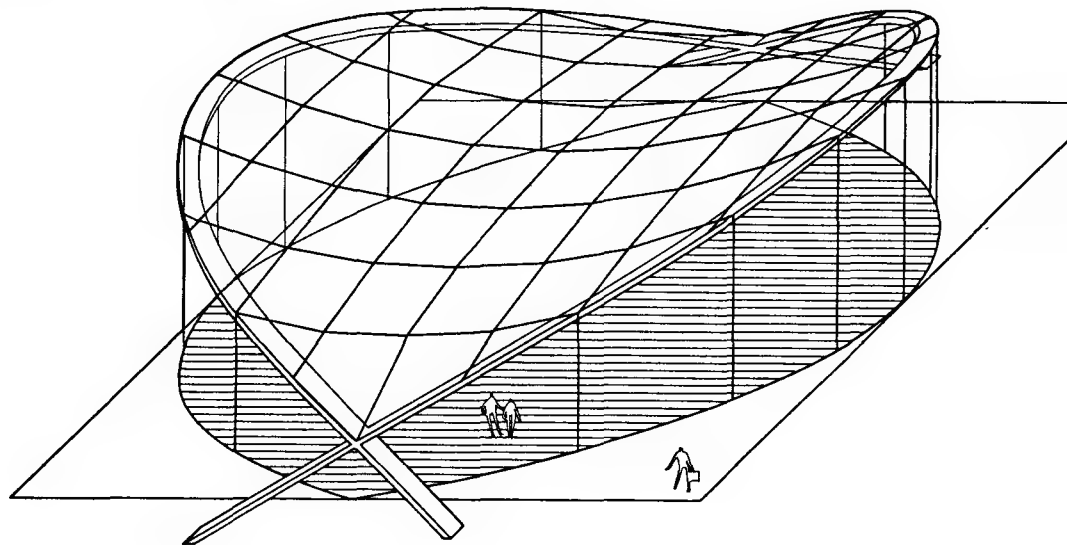
СИСТЕМА ОПОРНЫХ АРОК ДЛЯ ВАНТОВЫХ СЕТОК  
С ДВОЯКОЙ ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ КРИВИЗНОЙопорные арки,  
слегка наклоненные наружуоснование опорных арок,  
втянутое внутрь

# СИСТЕМА ОПОРНЫХ АРОК ДЛЯ ВАНТОВЫХ СЕТОК С ДВОЯКОЙ ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ КРИВИЗНОЙ

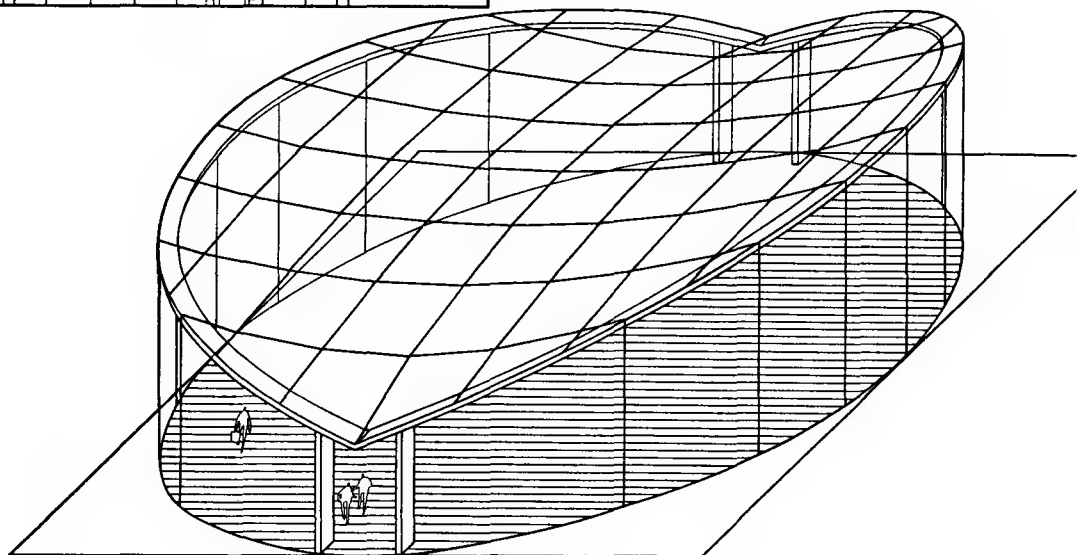
Переход от опорных арок к опорному кольцу



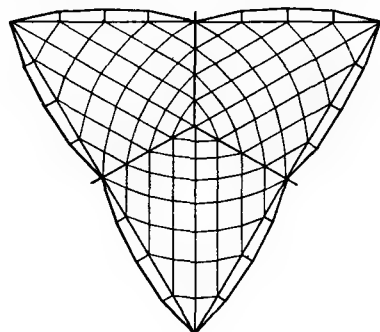
наклонные арки, перекрещивающиеся выше оснований



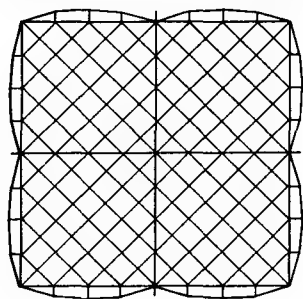
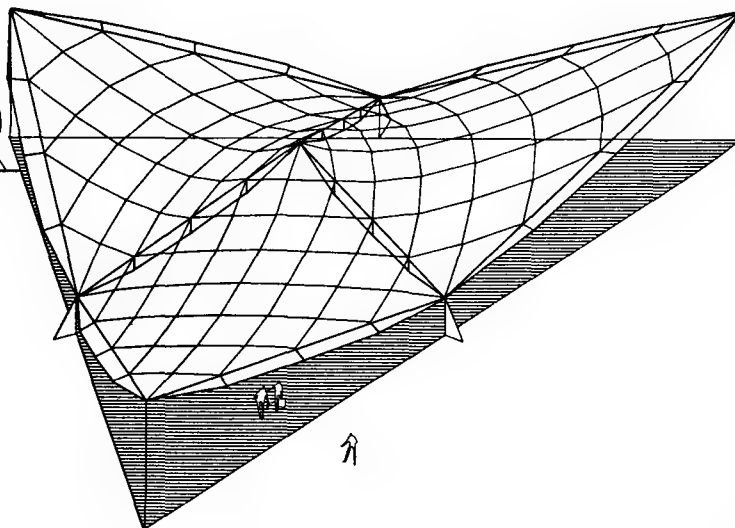
опорный контур в виде кольца, надломленного на краевых опорах



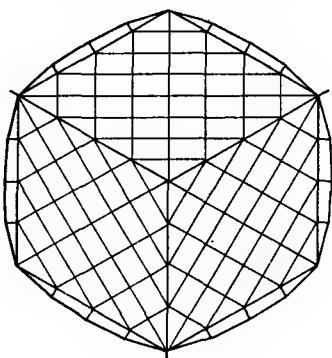
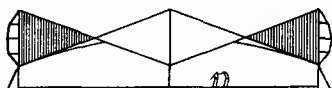
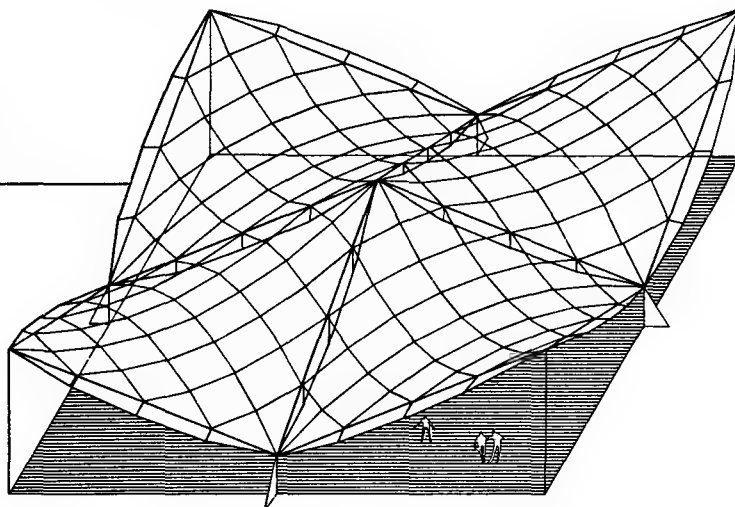
КОМПОЗИЦИЯ ИЗ ВАНТОВЫХ СЕТОК С ДВОЯКОЙ ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ КРИВИЗНОЙ,  
С ПРЯМЫМИ КРАЯМИ



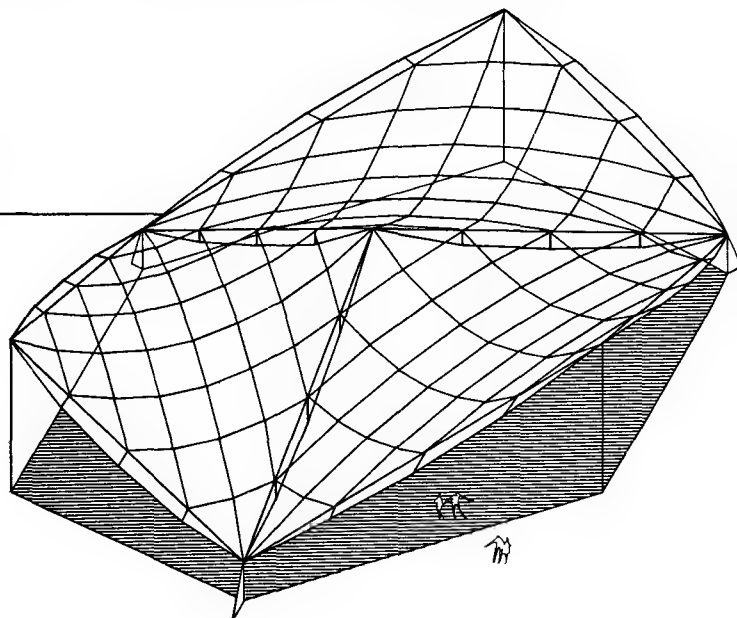
трехэлементная комбинация  
над треугольным планом



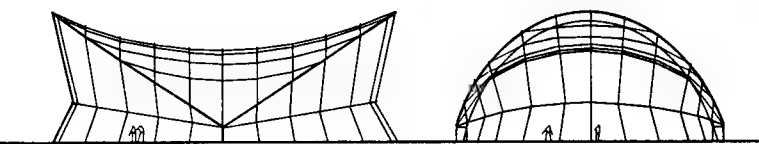
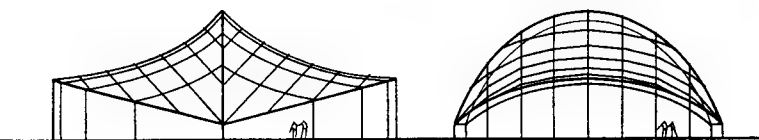
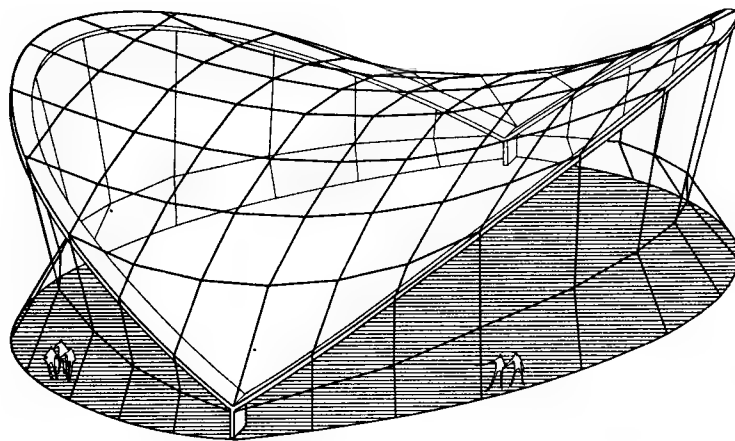
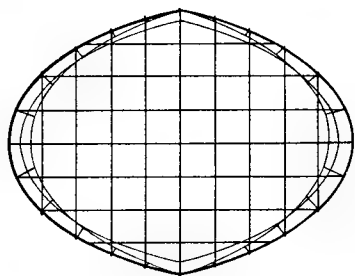
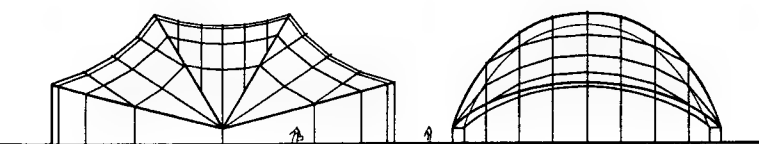
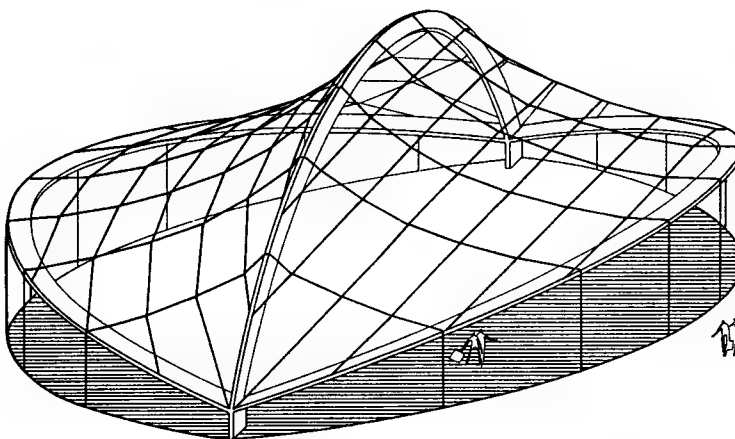
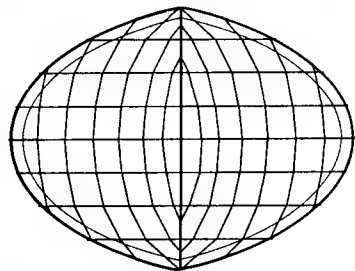
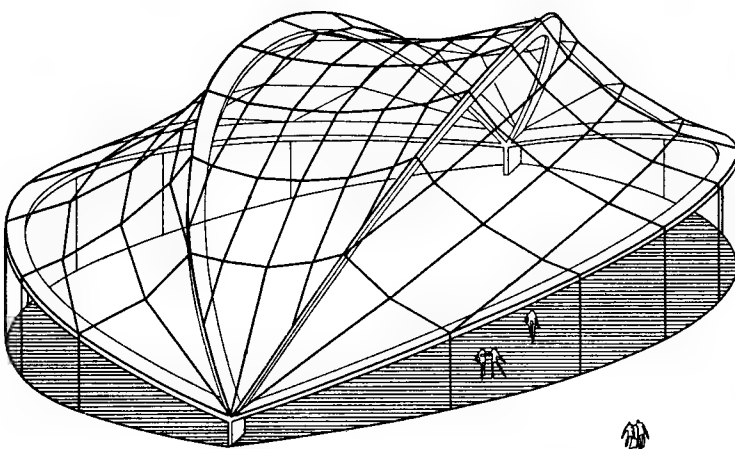
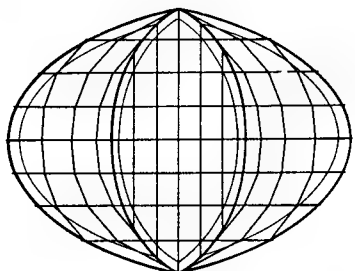
четырёхэлементная комбинация  
над квадратным планом



трехэлементная комбинация  
над многоугольным планом

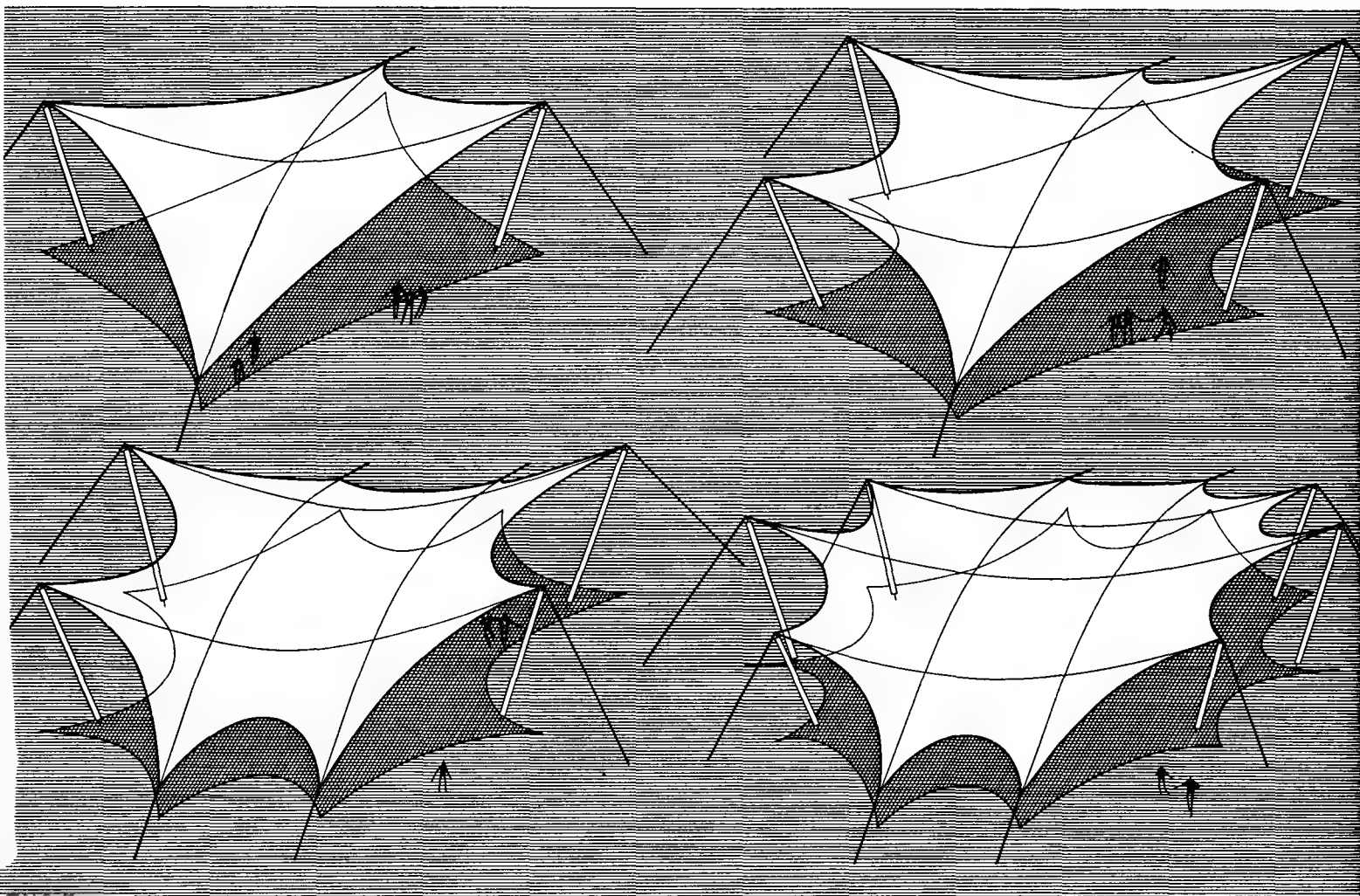
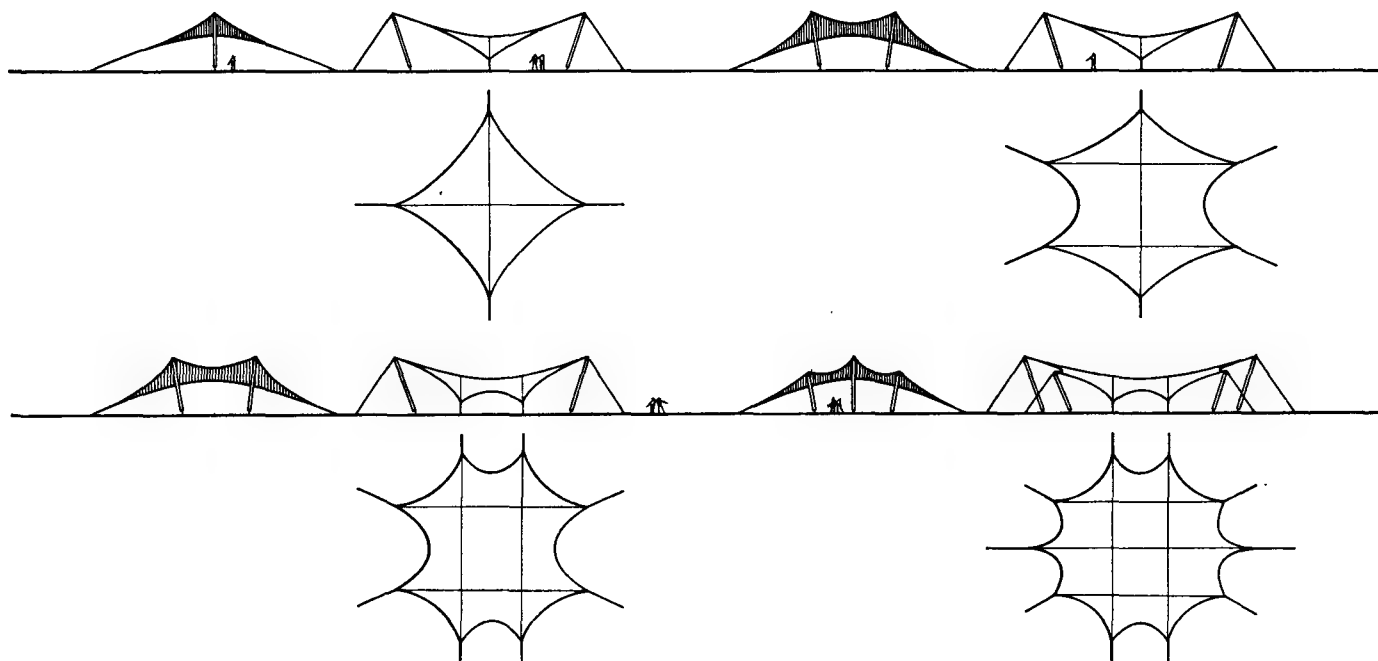


## КОМБИНАЦИИ ВАНТОВЫХ СЕТОК С ДВОЯКОЙ КРИВИЗНОЙ, С КРАЕВЫМИ АРКАМИ

две крайвые арки с общим  
основанием перпендикулярадве крайвые арки  
с центральной аркойдве крайвые арки с двумя  
промежуточными арками

## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ОПИРАНИЕМ НА ВНЕШНИЕ СТОЙКИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТИЕ

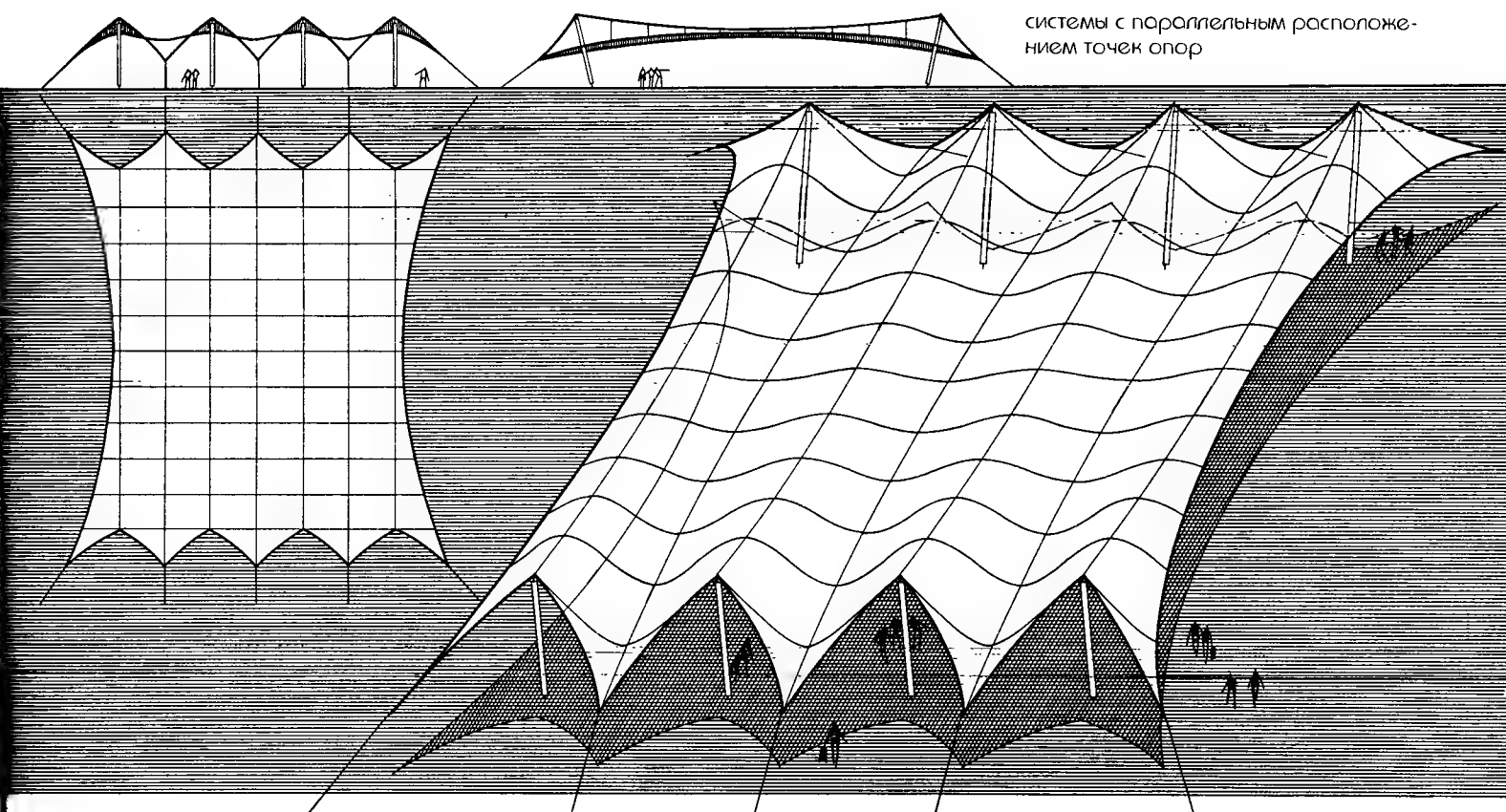
Системы с простыми скатными поверхностями



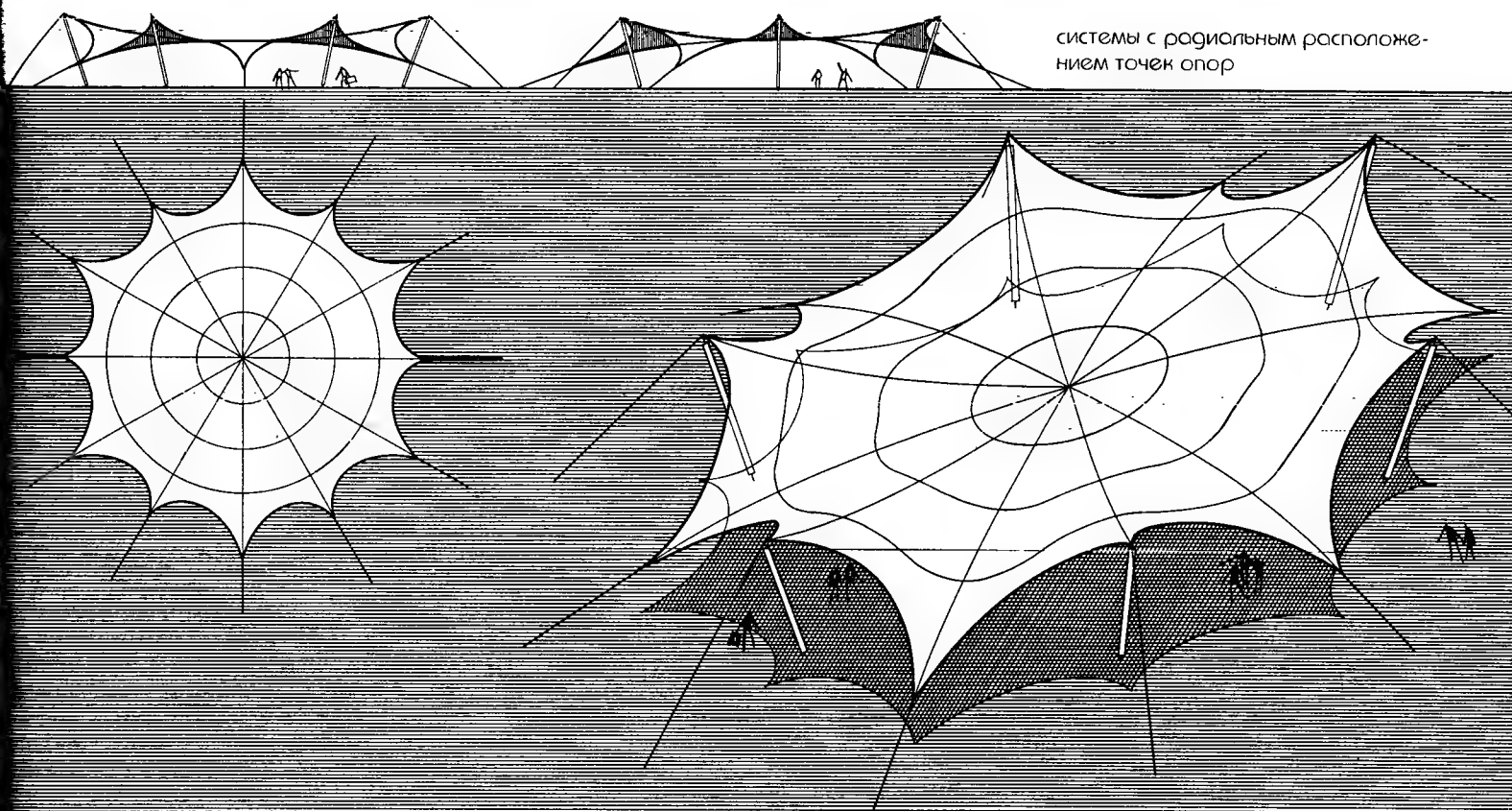


## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ТОЧКАМИ ОПОР И ОТТЯЖЕК

системы с волнистыми поверхностями



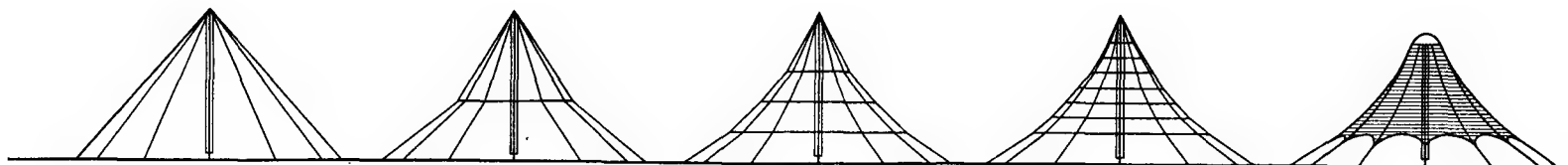
системы с параллельным расположением точек опор



системы с радиальным расположением точек опор

## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ОПИРАНИЕМ НА ВНУТРЕННИЕ СТОЙКИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТИЕ

Системы с шатровыми поверхностями



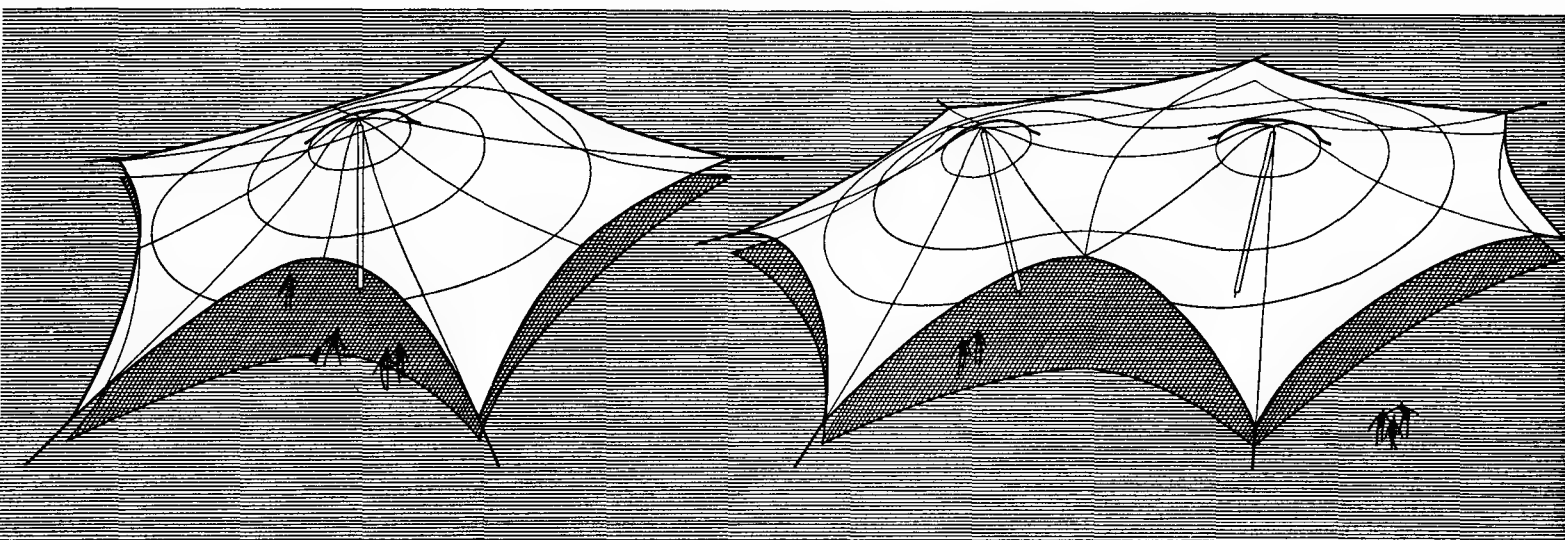
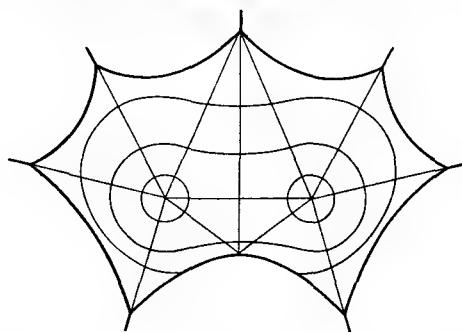
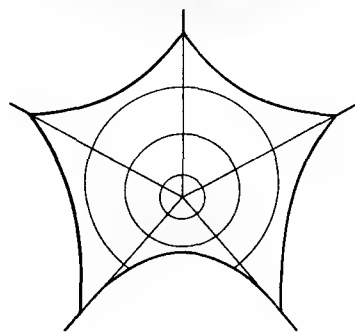
размещение рельефной поверхности с помощью конусообразной вантовой сетки

Благодаря стягиванию с помощью кольцевых вант повышается сопротивляемость асимметричным нагрузкам. Уплотнение кольцевых и меридиональных вант ведет к тентовой мембране. Из-за концентрации сил в наивысшей точке, в вершине, поверхность опирания должна быть расширена. Так появляется шатровая поверхность.



система с одной вершиной

система с двумя вершинами

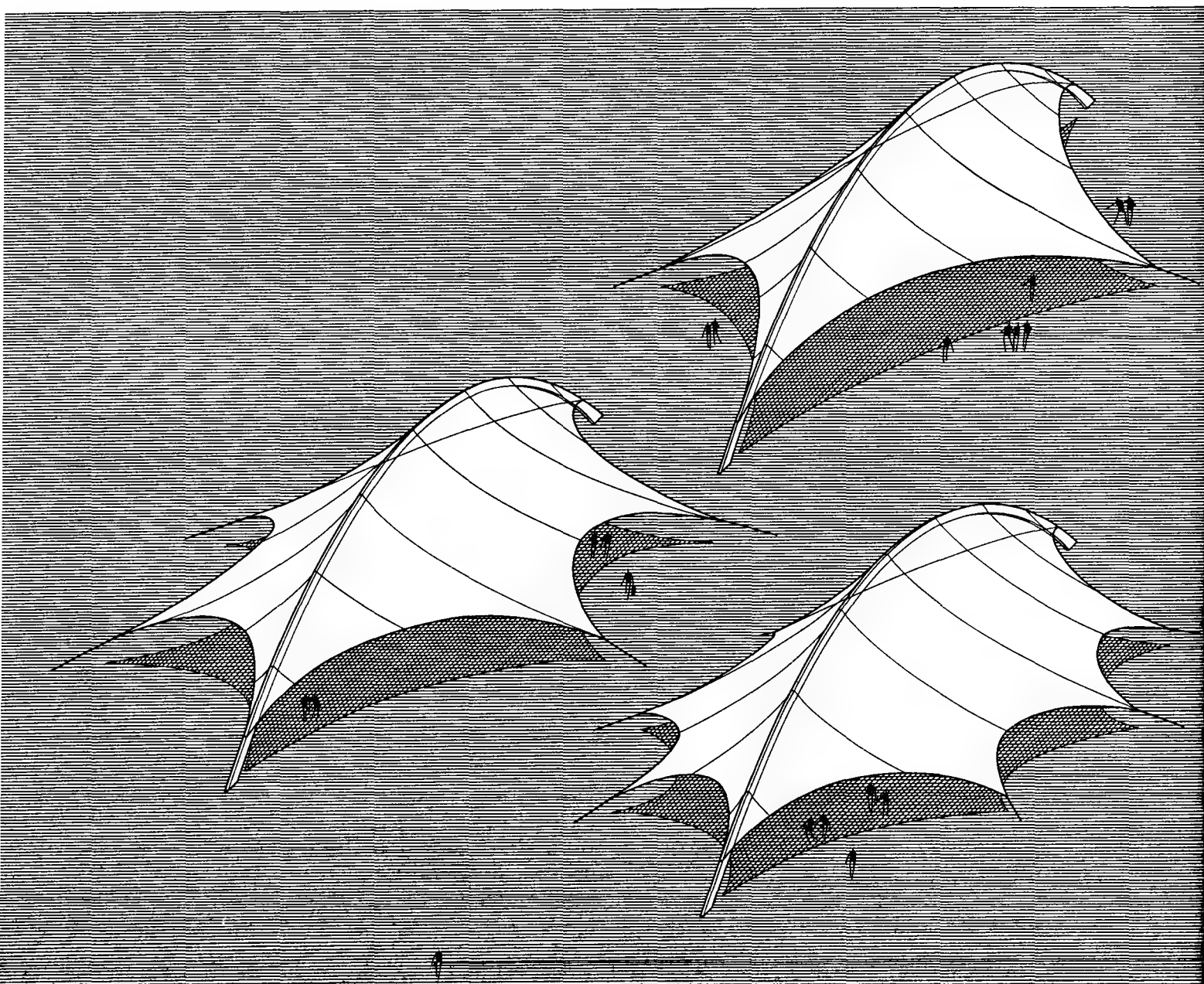


## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ОПИРАНИЕМ НА ВНУТРЕННИЕ СТОЙКИ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТИЕ

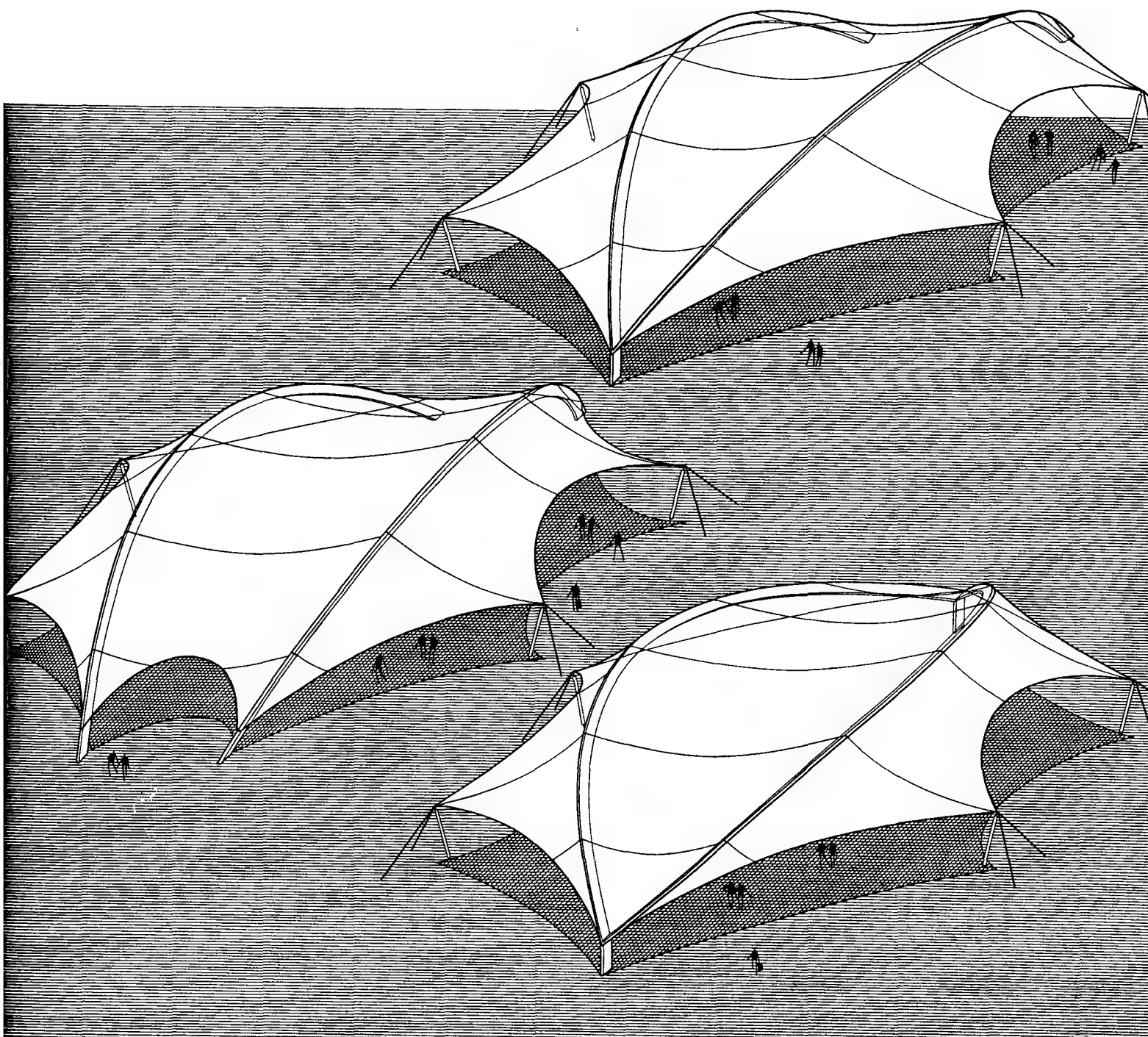
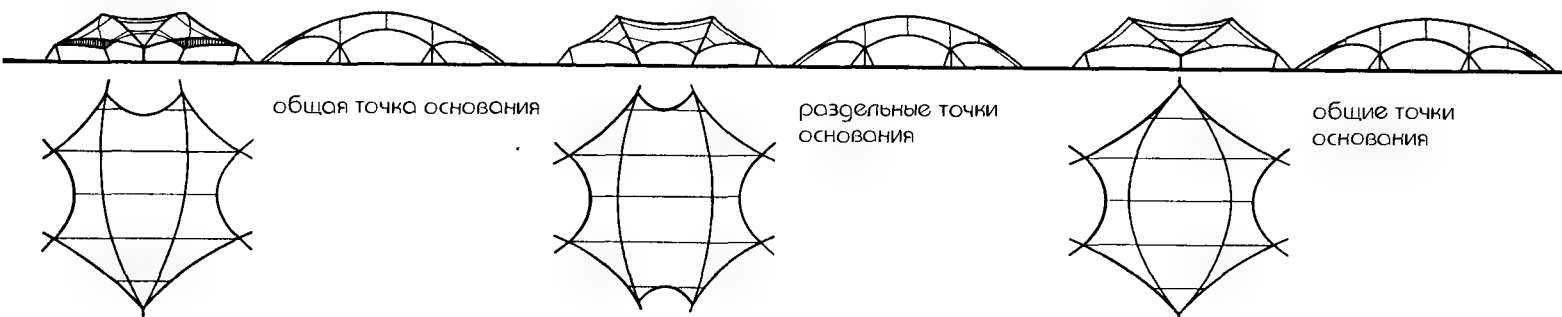
вершины различной  
высоты

дополнительная точка  
оттяжки в центре

## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ВНУТРЕННЕЙ ОПОРНОЙ АРКОЙ В ВИДЕ ВЫСОТНОЙ ДОМИНАНТЫ



# ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ВНУТРЕННИМИ ОПОРНЫМИ АРКАМИ В ВИДЕ ВЫСОТНОЙ ДОМИНАНТЫ



## КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ С ОПОРНЫМИ ВЕРШИНАМИ

внешние опоры периферийного расположения вершин

внутренние арки, формирующие вершины, расположенные по одной оси (линейно)

с внутренними опорными вершинами

с центральным расположением вершин

## конструктивные системы, опосредованно формирующие вершины

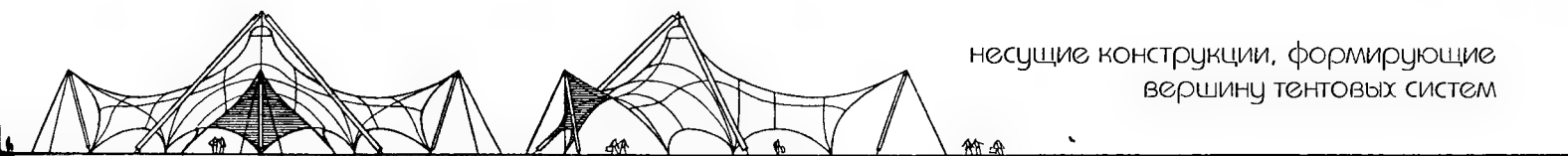
внешние опоры с оттяжками расположенных внутри вершин

внешние опоры с несущей вантой для подвешивания расположенных между ними вершин

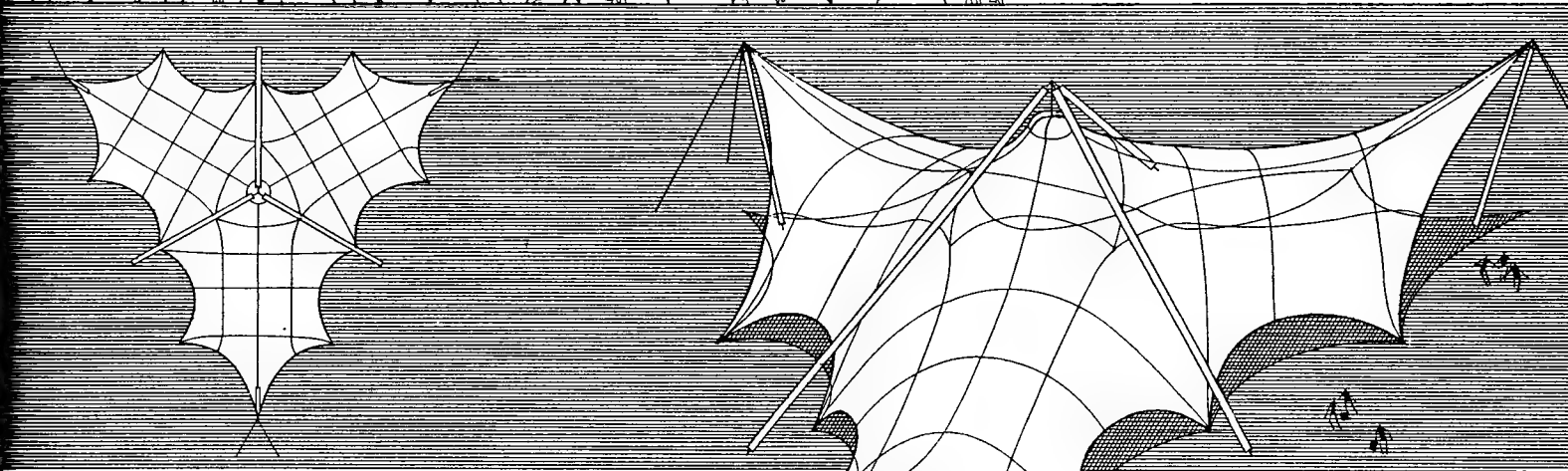
опоры с несущей вантой для поддержания расположенных внутри вершин

внешние опоры для периферийных вершин с оттяжкой для дополнительной вершины, расположенной в центре

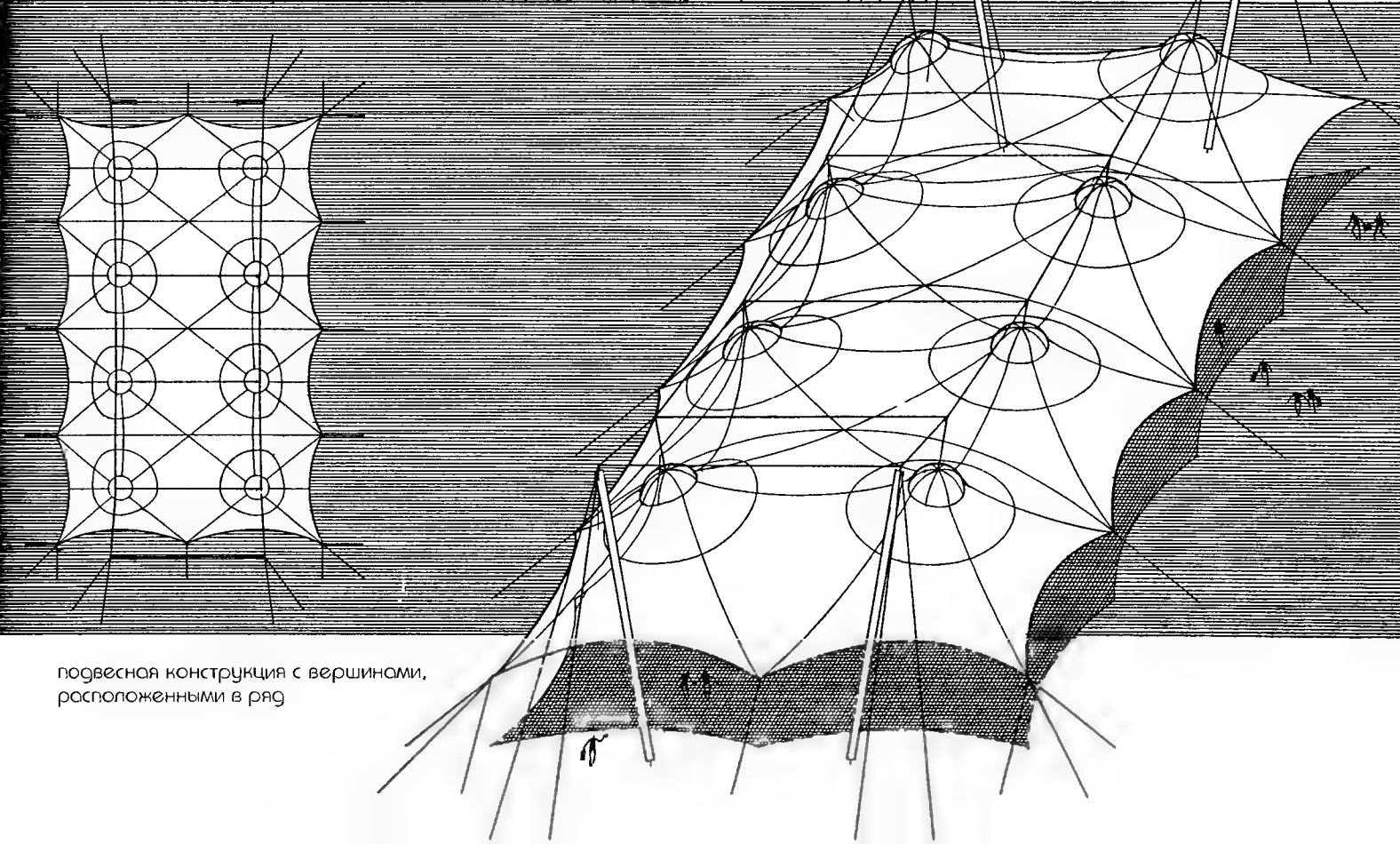
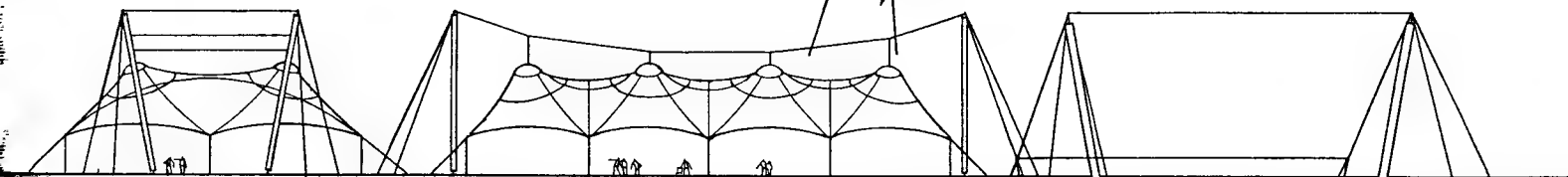




несущие конструкции, формирующие  
вершину тентовых систем

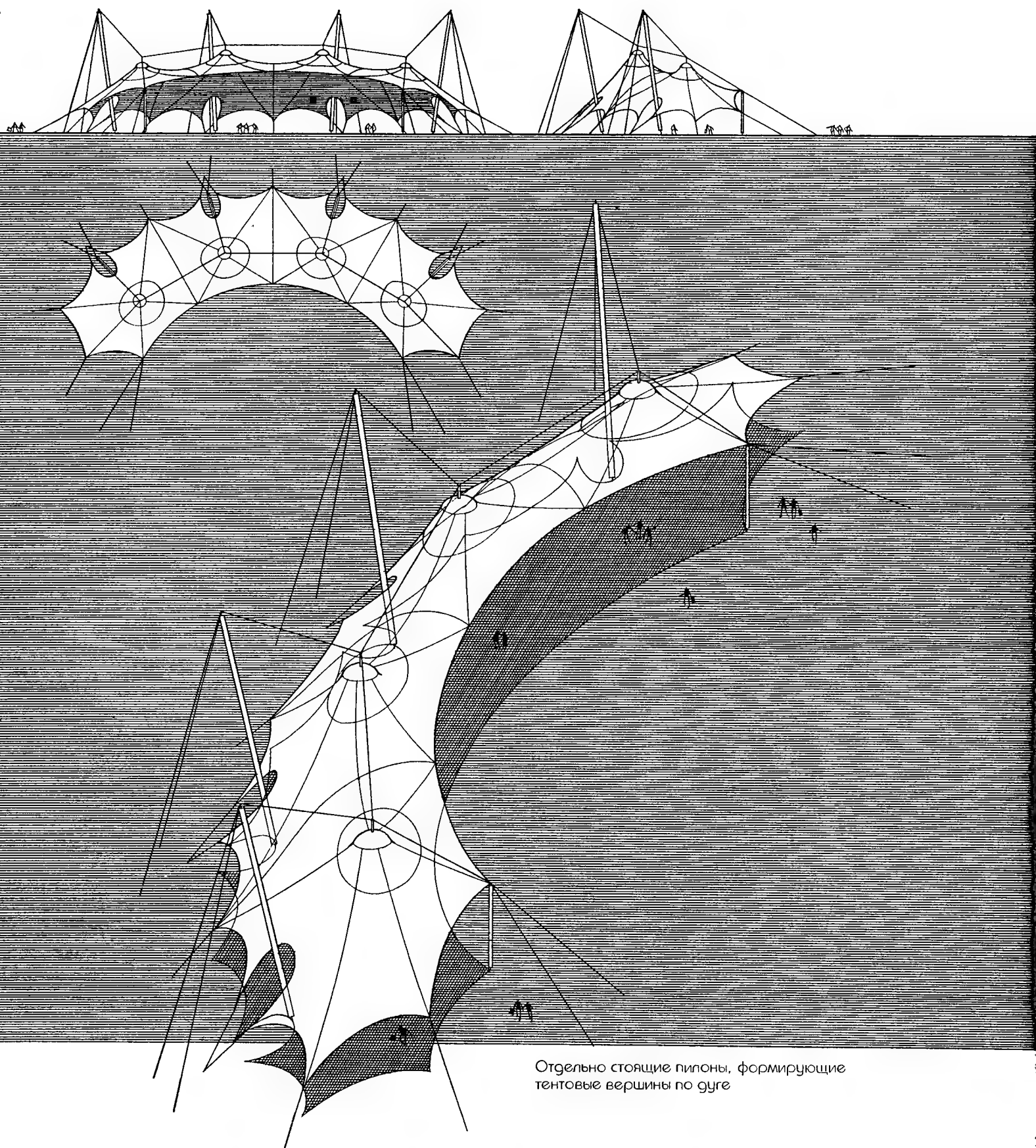


конструкция из трех опор, формирующая центральную вершину



подвесная конструкция с вершинами,  
расположенными в ряд

## КОНСТРУКЦИИ С ВЕРШИНАМИ ДЛЯ ТЕНТОВЫХ СИСТЕМ

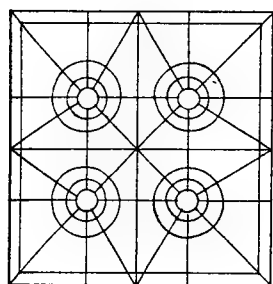
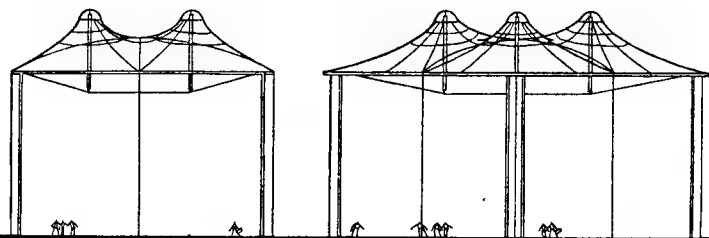


Отдельно стоящие пилоны, формирующие  
тентовые вершины по дуге

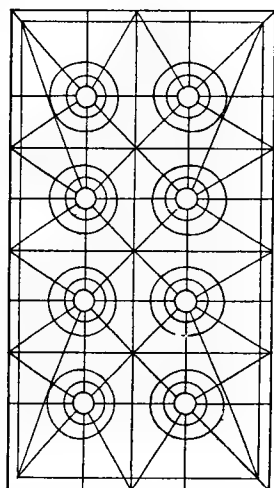
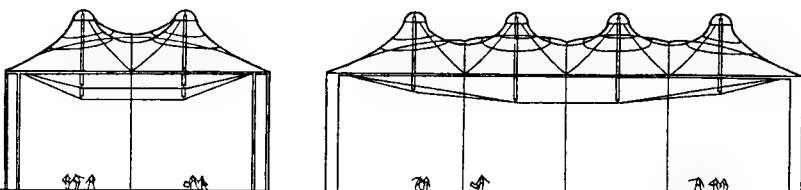
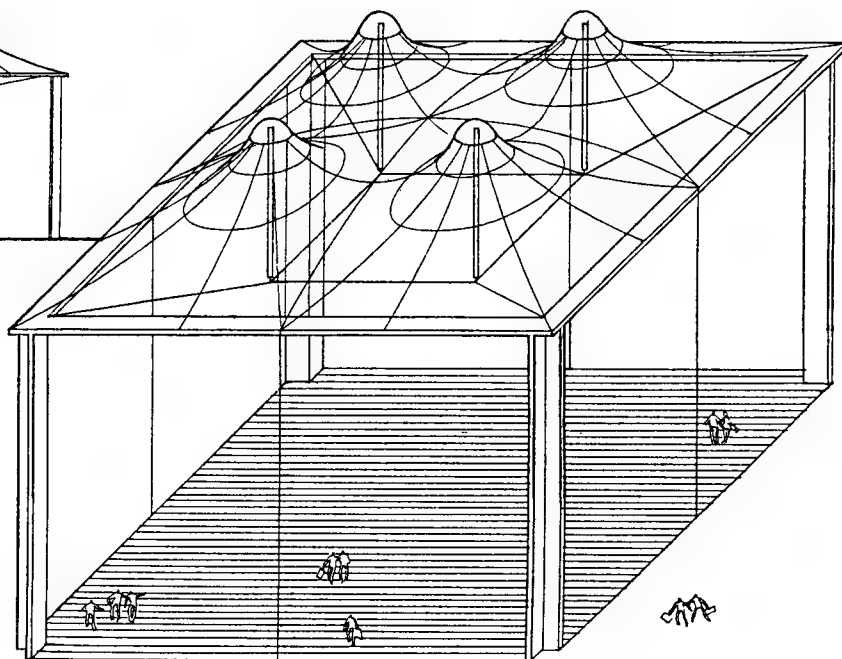


## ТЕНТОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ МАССИВНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

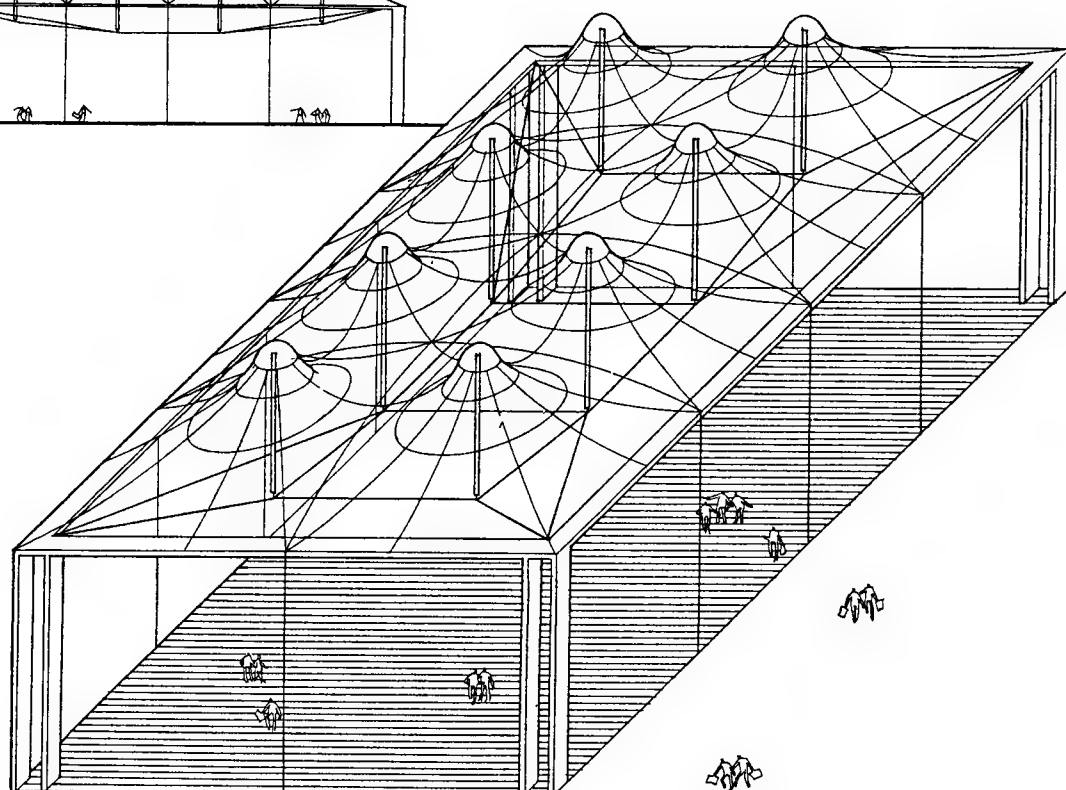
Конструкции с вершинами, сформированными шпренгелями

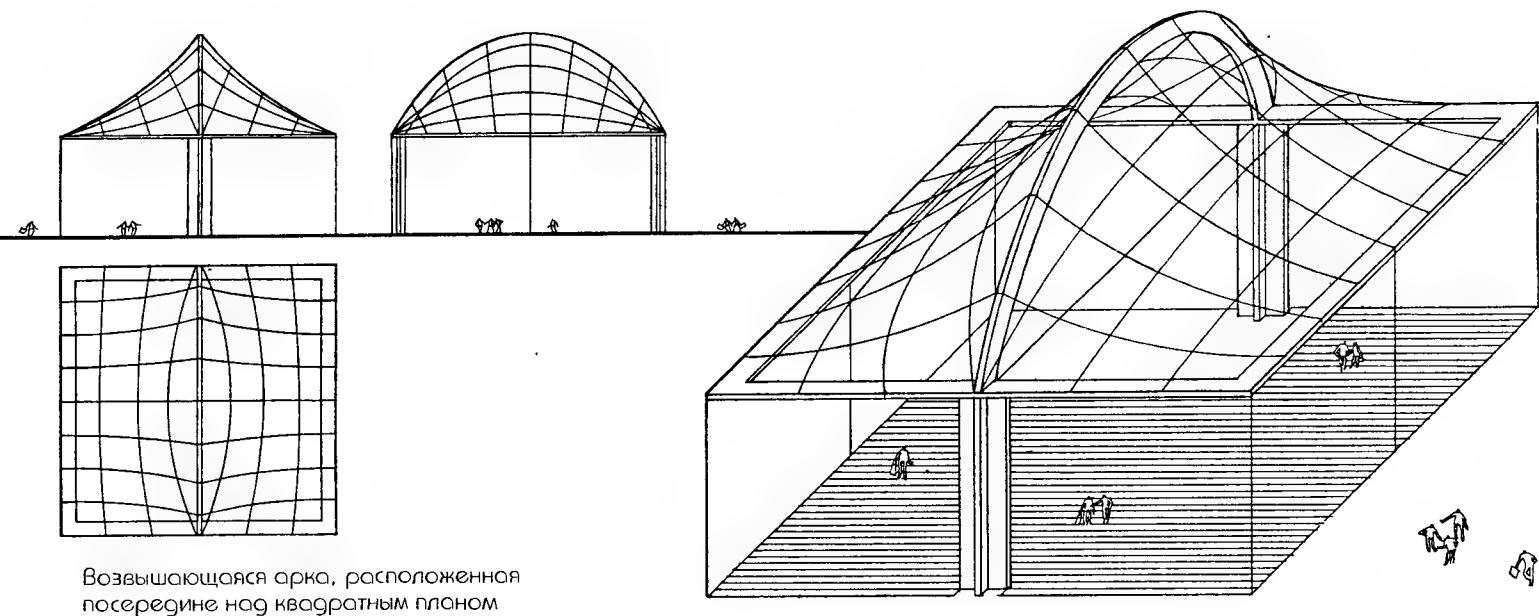


Вершины, расположенные по центру над квадратным планом



Рядное расположение вершин над прямоугольным планом

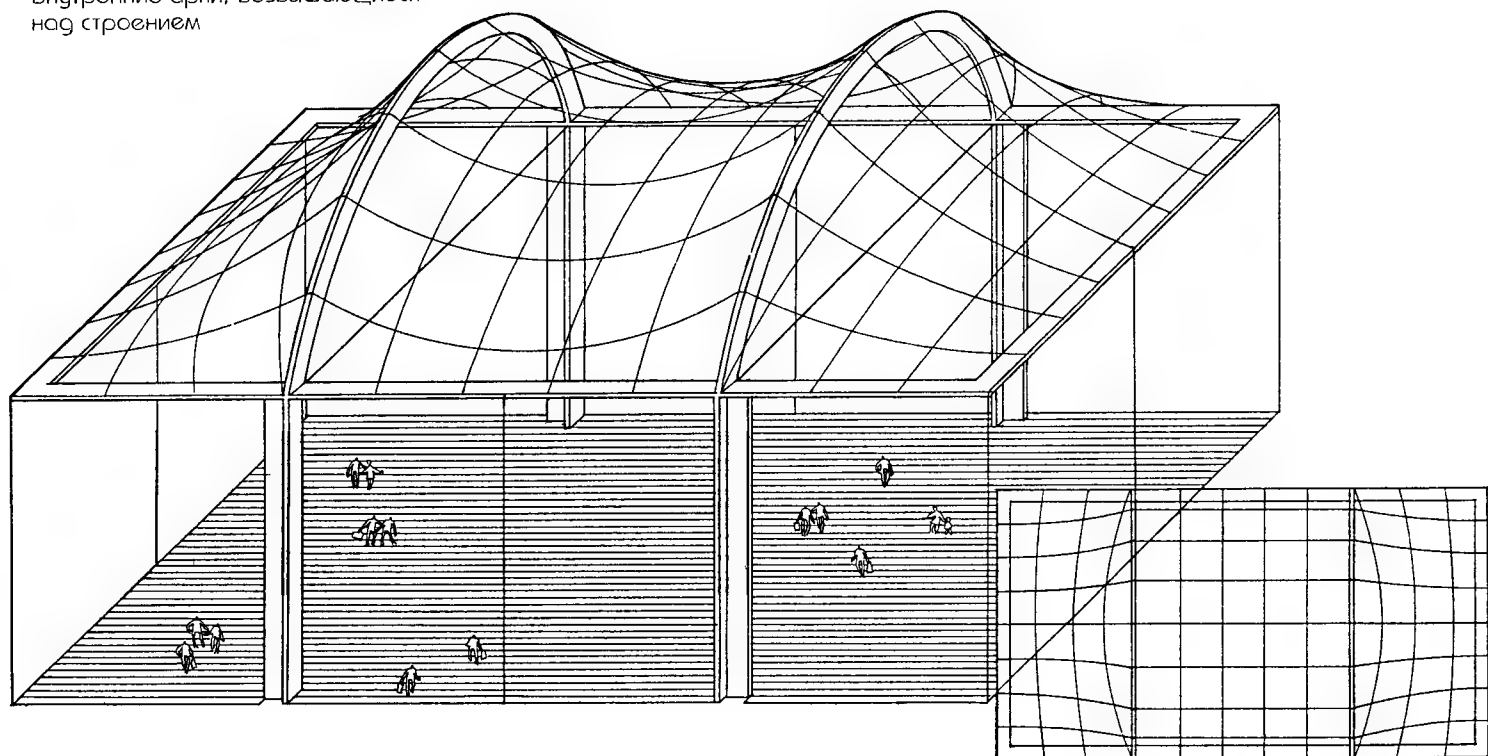




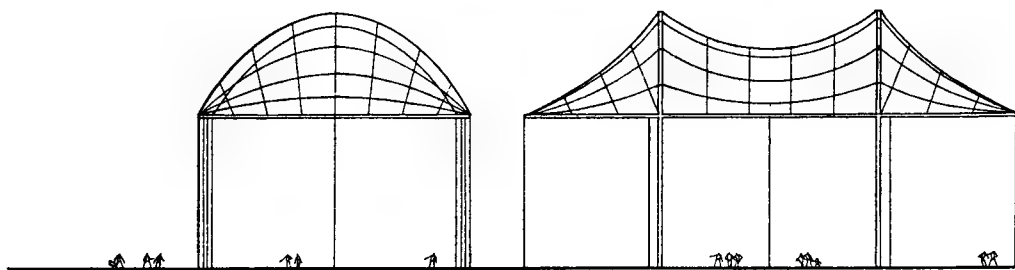
Возвышающаяся арка, расположенная посередине над квадратным планом

## ТЕНТОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАКРЫВАНИЯ МАССИВНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Внутренние арки, возвышающиеся над строением

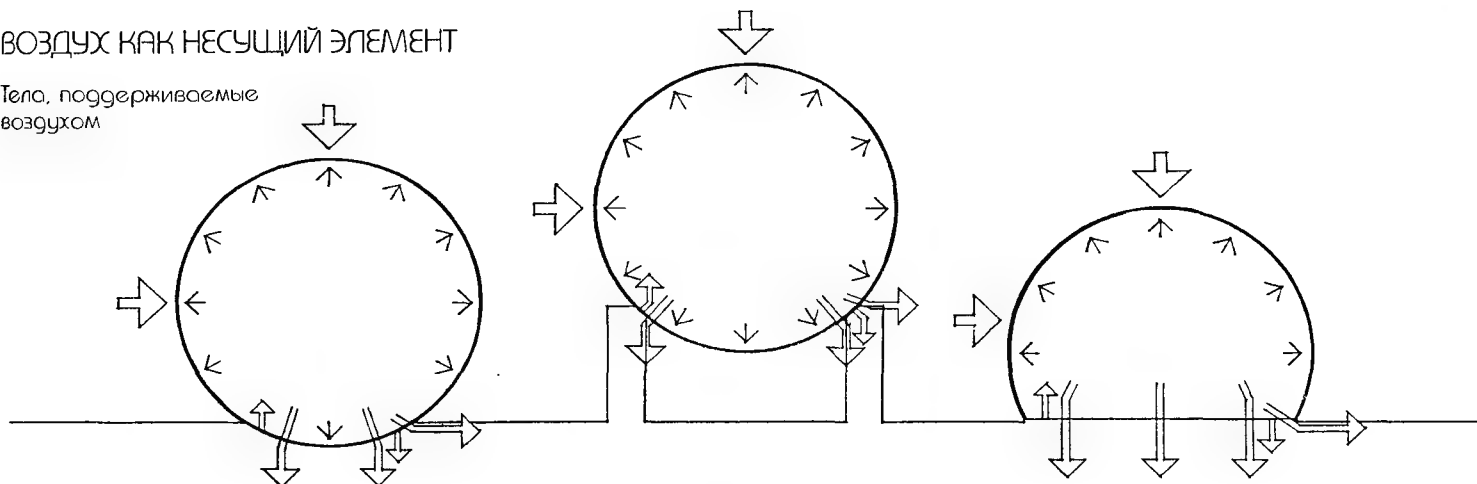


Параллельные арки, возвышающиеся над прямоугольным планом



## ВОЗДУХ КАК НЕСУЩИЙ ЭЛЕМЕНТ

Тела, поддерживаемые  
воздухом



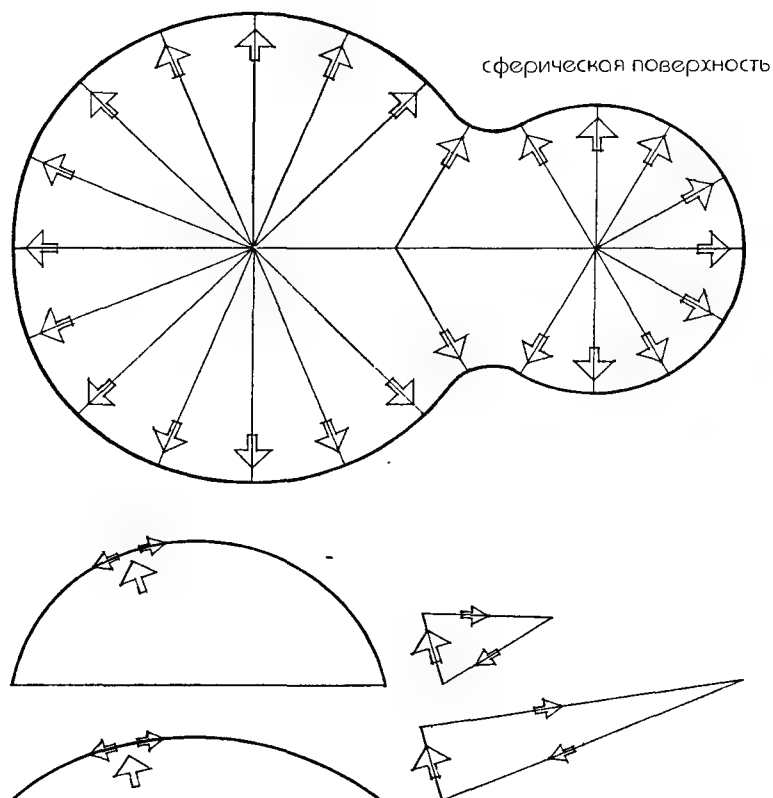
КОЛИЧЕСТВО ВОЗДУХА, замкнутое в прочной на растяжение гибкой оболочке (мембране) и сжатое по сравнению с окружающим воздухом (избыточное давление), ведет себя как однородное эластичное тело. В таком виде оно может воспринимать внешние нагрузки, распределять их дальше и отводить на грунт: ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ. Это механическое свойство массы воздуха основывается на трех условиях:

1. Внешняя оболочка должна быть прочной на растяжение и воздухонепроницаемой.

2. Стабилизирующее внутреннее давление воздуха должно быть долговечным и всегда больше, чем все силы, действующие на мембрану извне.
3. Каждое изменение формы оболочки (при одинаковой величине поверхности) должно вести к заметному уменьшению замкнутого объема.

Вывод: Механика сопротивления воздуха основана на сопротивлении формы внешним силам = НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ, АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ

## ОСНОВНАЯ ФОРМА МЕМБРАНЫ



Усилия замкнутого воздушного объема в состоянии повышенного давления равномерны. Они действуют центробежно в направлении окружающей оболочки, т. е. в направлении возможного выравнивания давления.

Полученная в результате форма оболочки является основной геометрической формой пневматических структур – СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.

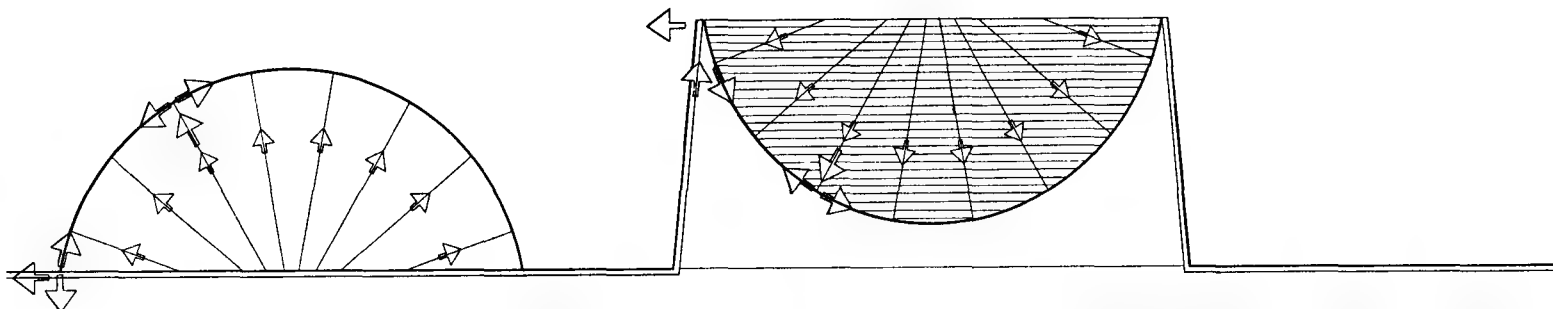
Сферическая поверхность закрывает пространственный объем минимальной площадью поверхности. В таком виде она является формой оболочки, объем которой вследствие каждого изменения формы максимально уменьшается, т. е. оптимально противостоит каждой деформации.

Однородная равномерная мембрана в виде шара испытывает при избыточном внутреннем давлении одинаковые напряжения на растяжение в каждой точке.

С большим искривлением сферической поверхности (уменьшение существующего радиуса) и остающимся неизменным внутренним избыточным давлением воздуха уменьшается напряжение на растяжение. Эффективность мембраны при восприятии сил внутреннего давления возрастает. Вместе с тем возрастают усилия, препятствующие деформации геометрии оболочки.

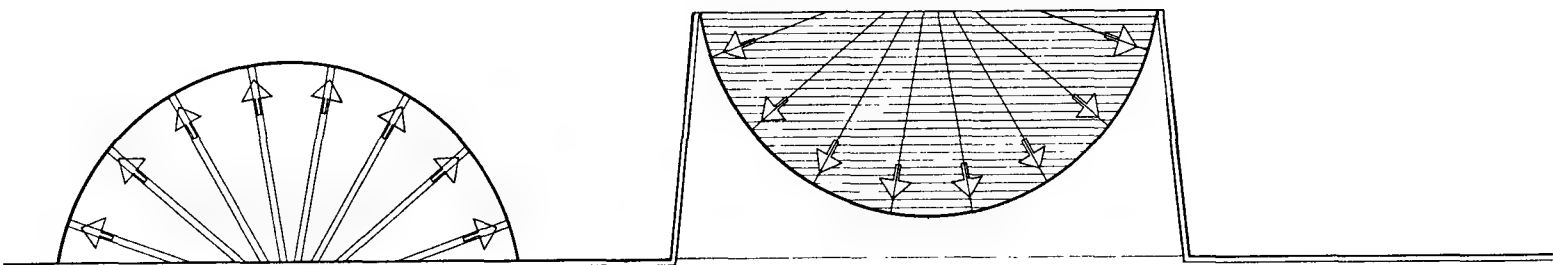
## ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ: СРАВНЕНИЕ С МЕМБРАННЫМ РЕЗЕРВУАРОМ

Поддерживаемые воздухом несущие системы



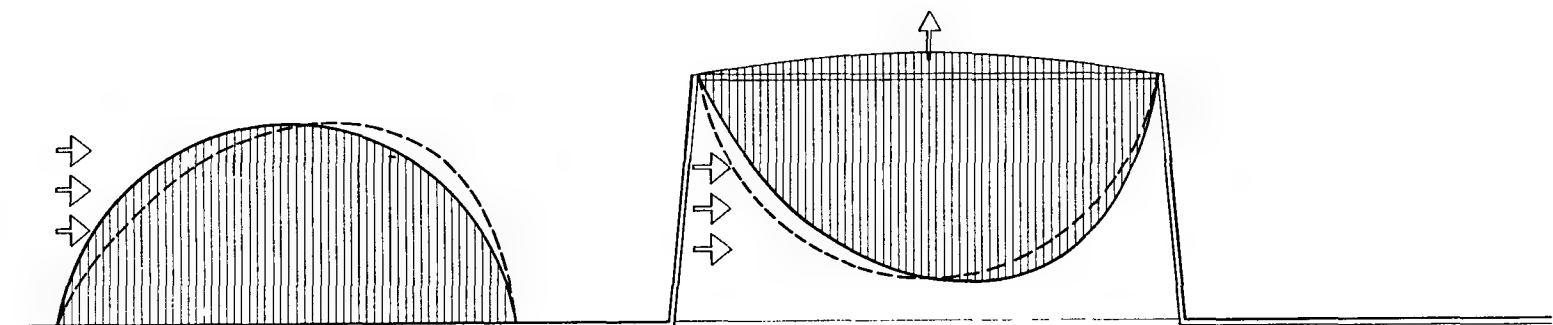
Из-за повышения внутреннего давления воздуха не только компенсируется собственный вес пространственной оболочки, но и мембрана предварительно напрягается настолько, что не может вдавливаться при несимметричных нагрузках. Распреде-

ление усилий с помощью мембраны осуществляется только по результирующей, направленной наружу. Аналогично действие мембранного резервуара, который подвержен только давлению своего содержимого (жидкость, сыпучий материал).



Внутреннее давление становится основой гибкой опоры мембраны в каждой точке. Аналогично стабилизируется форма мембранного резервуара с помощью центробежных сил свое-

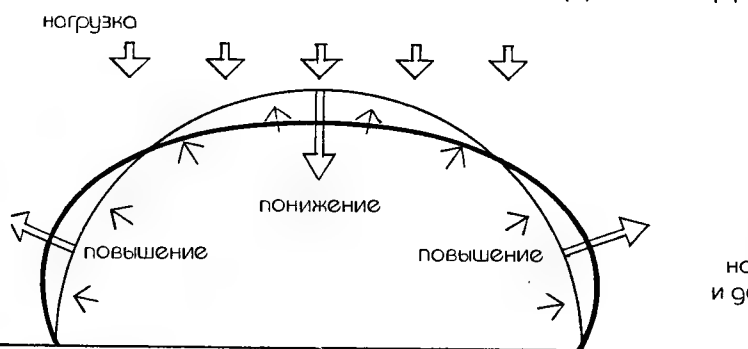
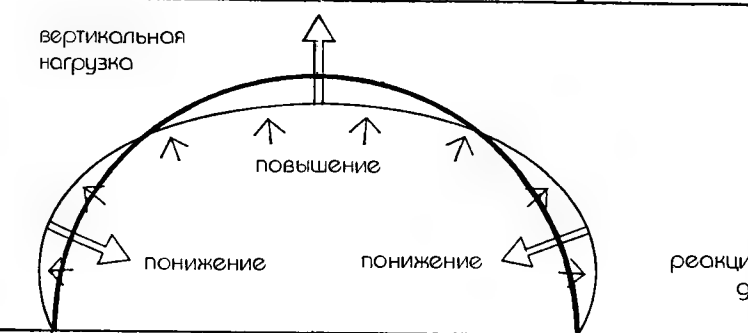
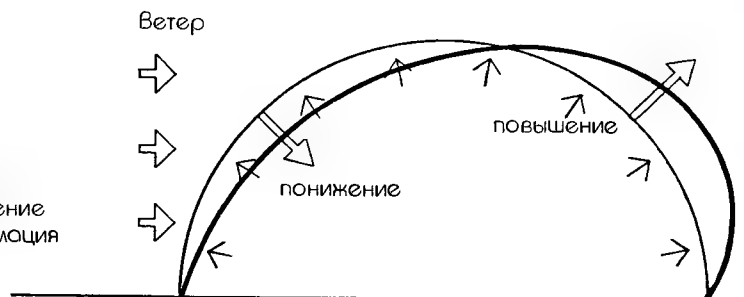
го содержимого. Преимущество пневматической опоры состоит в том, что она не оказывает отрицательного влияния на свободное использование пространства.



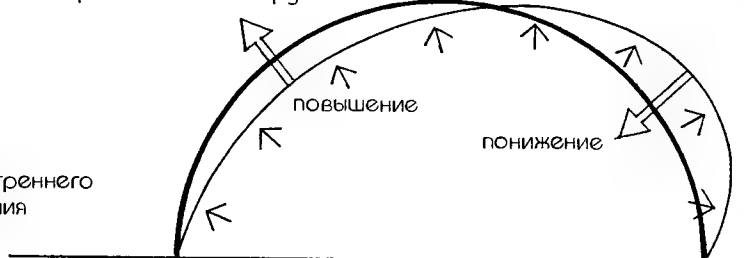
Сопротивление деформации гарантируется герметичностью и прочностью на растяжение мембраны. Только при потере объема или увеличении поверхности оболочки может изменить-

ся форма, как и у подвешенного мембранного резервуара, содержимое которого может сместиться в свободную сторону (наверх) и допустить деформацию.

## МЕХАНИЗМ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТЕЛА

нагружение  
и деформацияреакция внутреннего  
давления

горизонтальная нагрузка

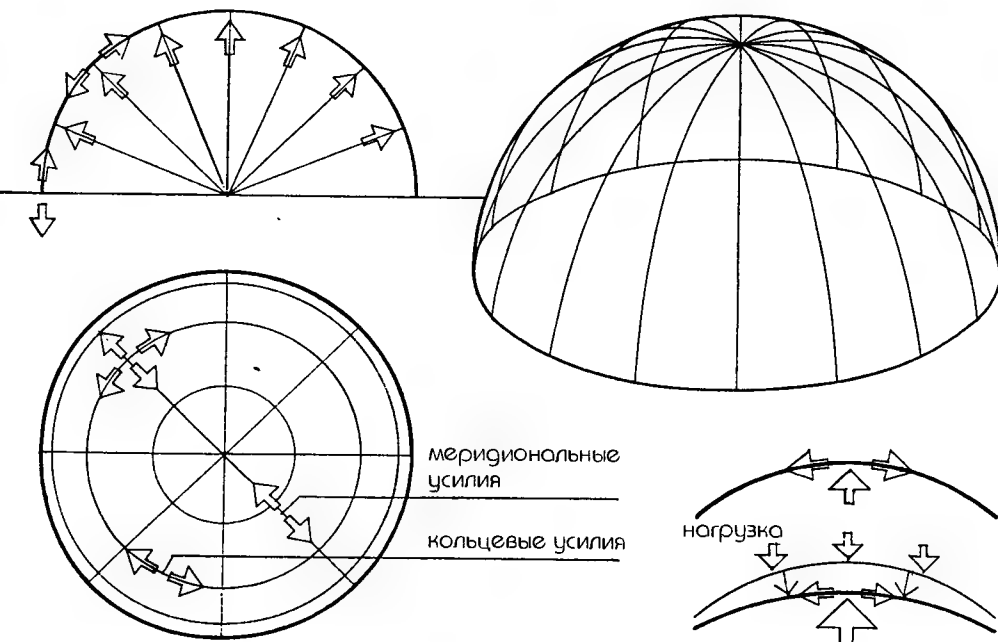


Два механизма сопротивления деформации:

1. Противодействие сил внутреннего давления, направленное на оболочку: возрастание действия при уменьшении кривизны = увеличение оболочки. Уменьшение действия при возрастании кривизны = уменьшение оболочки.

2. Повышение в целом напряжений на мембрану после растяжения поверхности вследствие изменения объема и мобилизации усилий для возвращения пневматической исходной формы.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА И ОБОЛОЧКИ

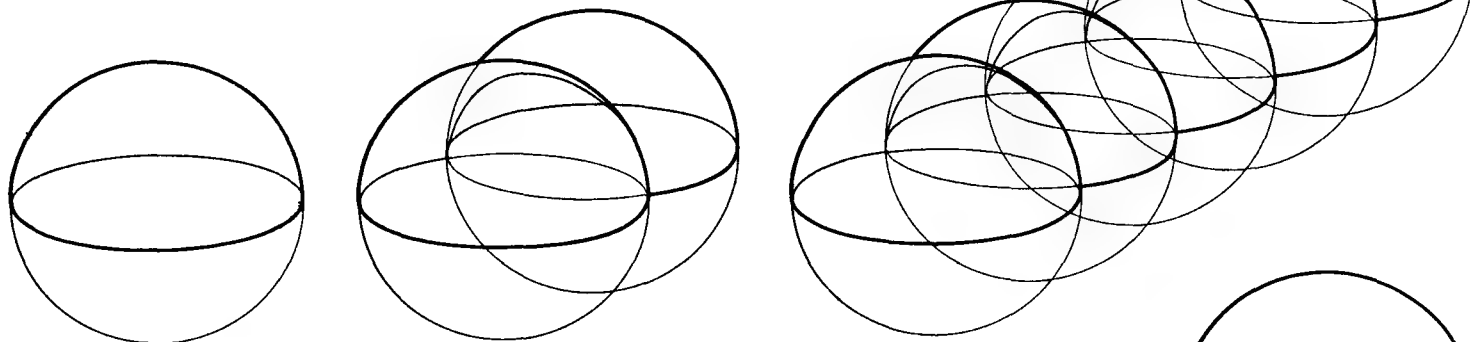


Мембранная оболочка (собственный вес) поддерживается и стабилизируется с помощью разницы давлений воздуха внутри и снаружи: ВОЗДУШНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ.

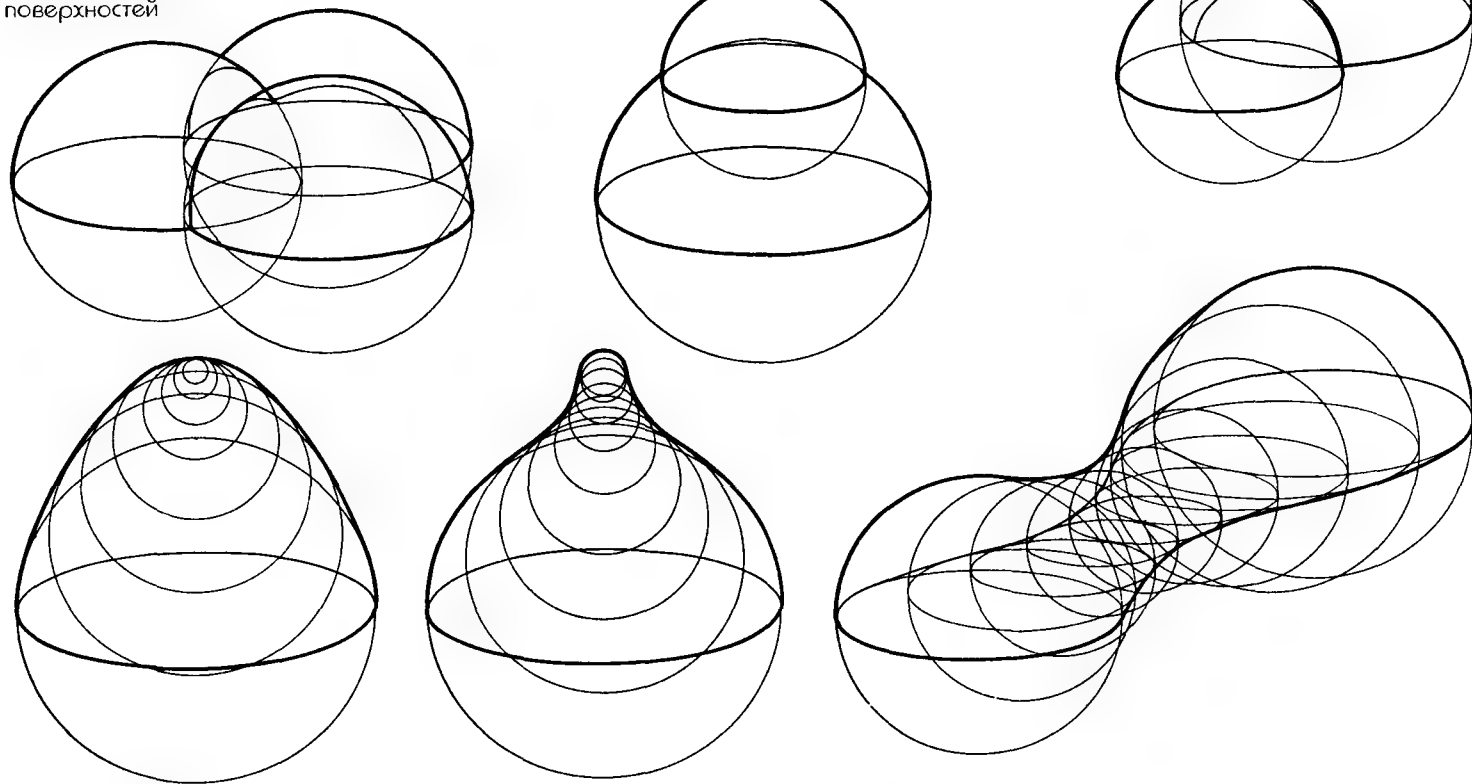
При дополнительном силовом воздействии оболочка поддается и способствует тому, что воздух внутри сжимается и движется. Вследствие этого увеличивается разница давлений при одновременном изменении формы оболочки (кривизна).

Оба процесса усиливают сопротивление деформации. То есть только благодаря начавшейся деформации мобилизуются усилия для создания равновесия.

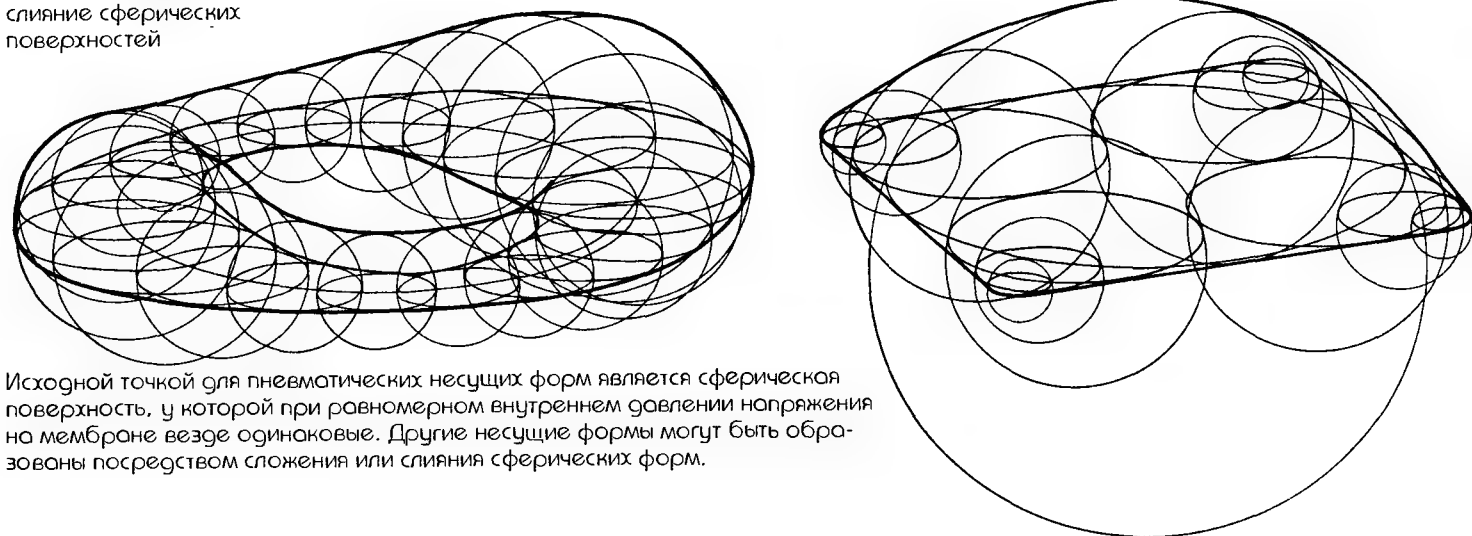
## ГЕОМЕТРИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ ФОРМ



сложение сферических поверхностей

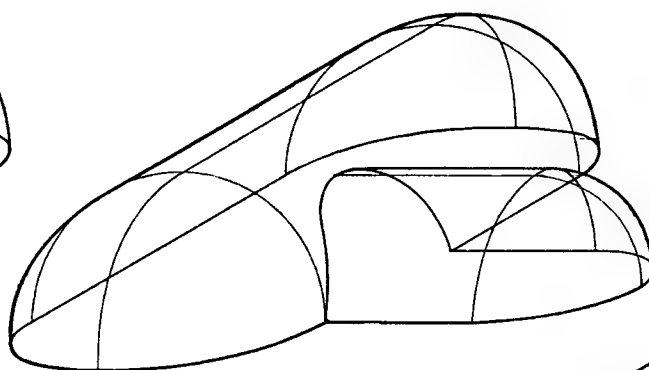
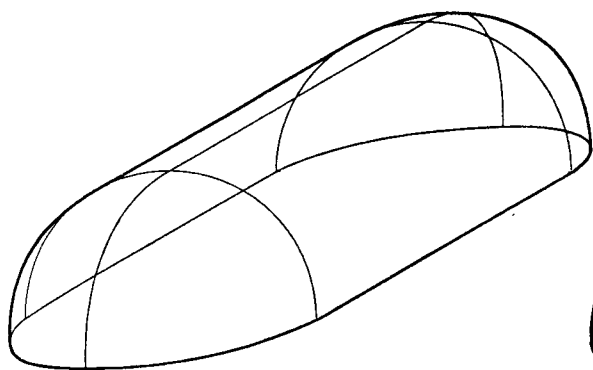
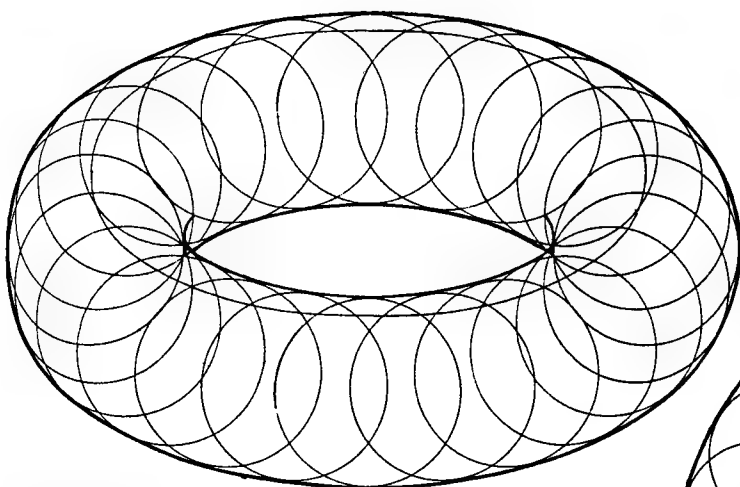
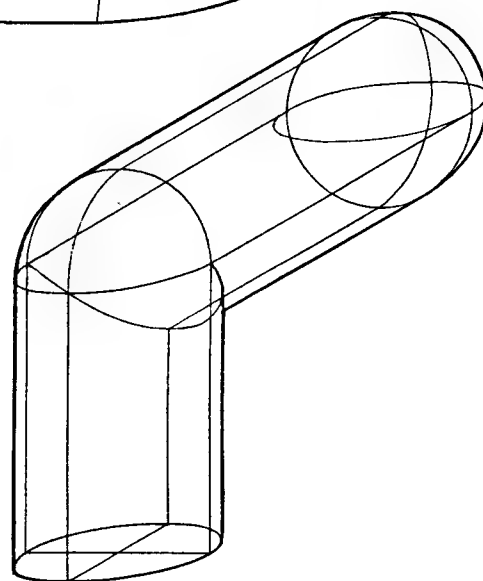
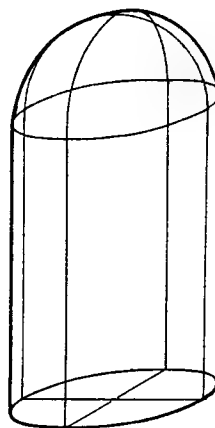
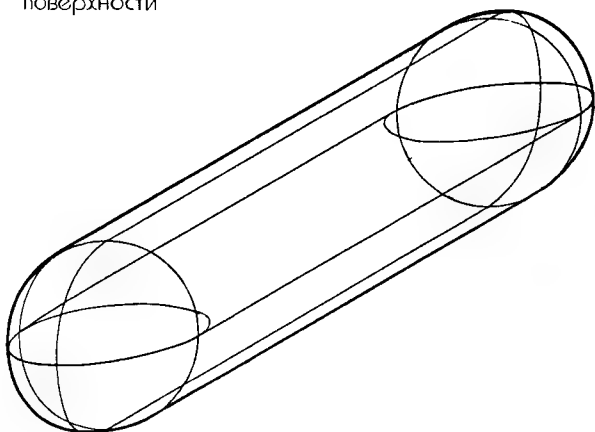
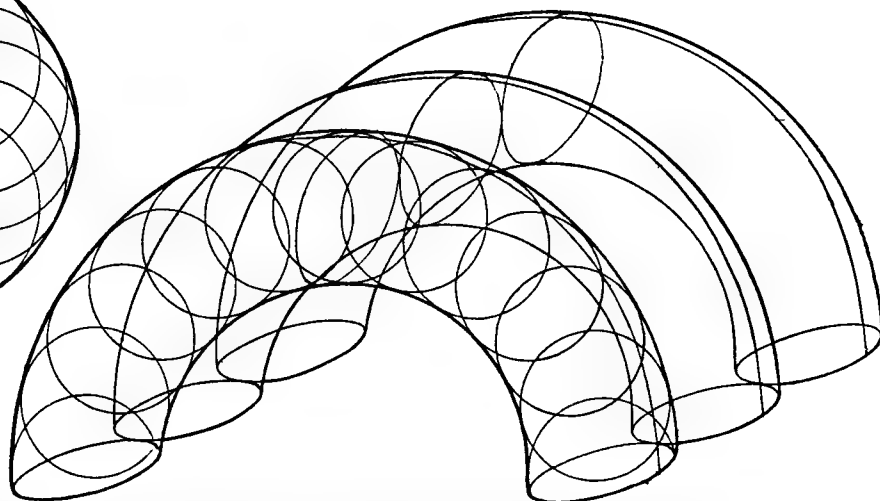


слияние сферических поверхностей



Исходной точкой для пневматических несущих форм является сферическая поверхность, у которой при равномерном внутреннем давлении напряжения на мембране везде одинаковые. Другие несущие формы могут быть образованы посредством сложения или слияния сферических форм.

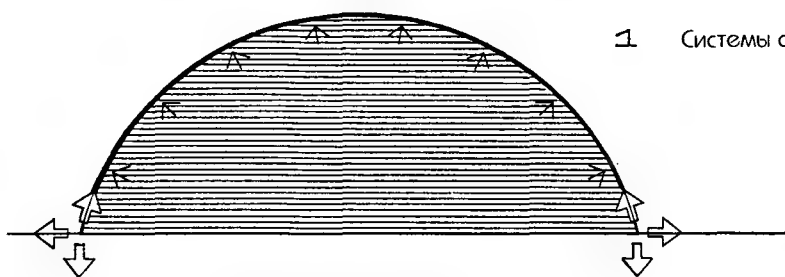
## ПРОТОТИПЫ ФОРМ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

сферические и цилиндрические  
поверхностиповерхность в виде колец, расположенных  
по кругу (в виде тора)

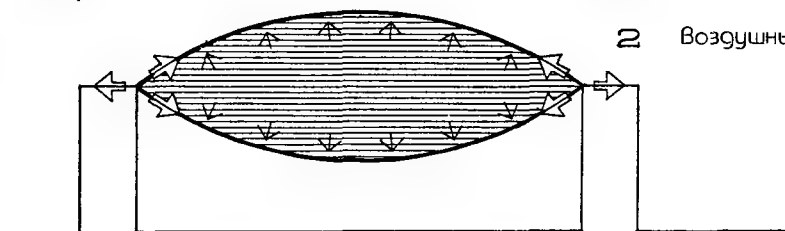
Так как сферические поверхности и их сложение или слияние с позиции формирования плана обнаруживают ряд недостатков, из соображений упрощения (хотя и не с позиции улучшения

механики сопротивления) применяются преимущественно комбинации сферических и цилиндрических поверхностей, а также поверхности в виде тора.

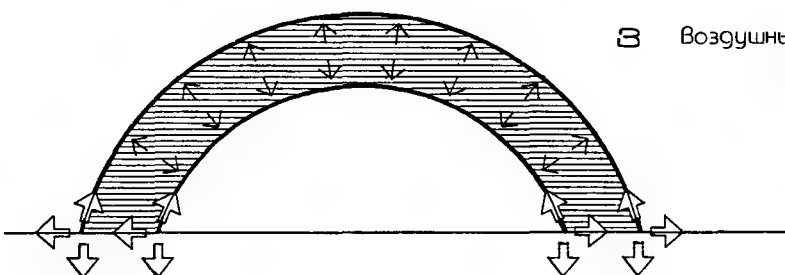
## ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ



- 1 Системы с избыточным давлением  
Замкнутое воздушное пространство/ Системы внутреннего давления  
Избыточное давление воздуха в замкнутом пространстве удерживает оболочку и стабилизирует ее по отношению к действующим силам. Пространство с избыточным давлением – это одновременно полезный объем. Силы, действующие на оболочку, отводятся непосредственно на края.



- 2 Воздушные подушки/ Системы с двойной оболочкой  
Избыточное давление в подушке служит только для стабилизации несущей оболочки и образует вместе с верхней мембраной поверхность крыши. Восприятие мембранных усилий по краям требует создания удерживающей конструкции.



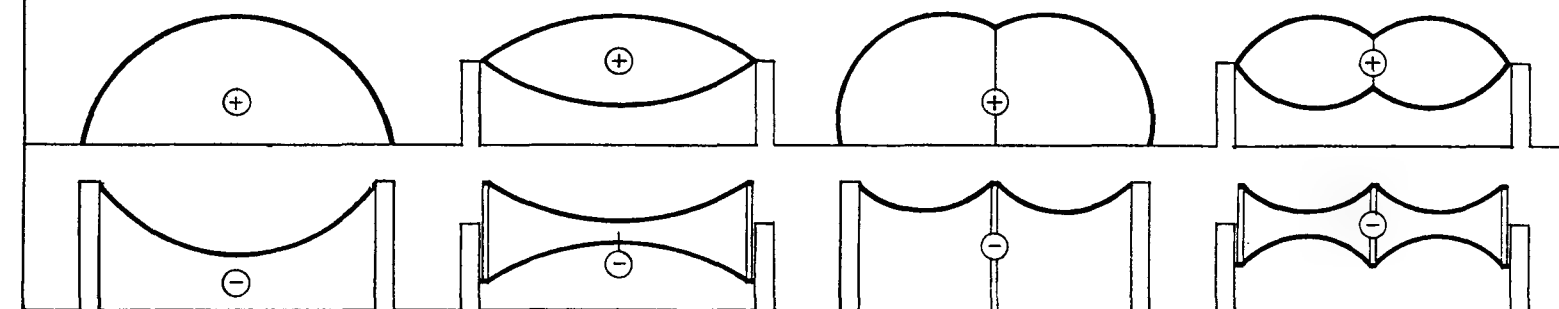
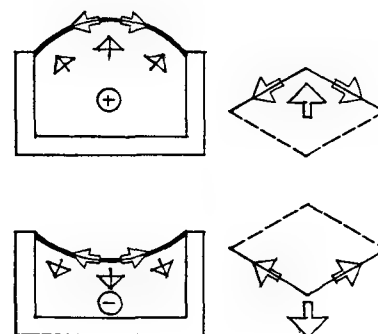
- 3 Воздушный рукав/ Линейные системы оболочек (системы высокого давления)  
Избыточное давление воздуха стабилизирует форму рукава и образует вместе с тем линейное несущее тело различных конструкций для перетяжки помещений. Мембранные силы отводятся, как и у замкнутых воздушных пространств, непосредственно на края.

## ИСКЛЮЧЕНИЕ: ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

Практика перевода несущих систем от принципа механики избыточного давления на основу вакуума как самостоятельного типа несущих конструкций не имеет достаточных оснований. Здесь остается неиспользованным также ФОРМООБРАЗУЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ – «воздух», он должен

быть заменен дополнительными, многократно используемыми опорными или рамными конструкциями.

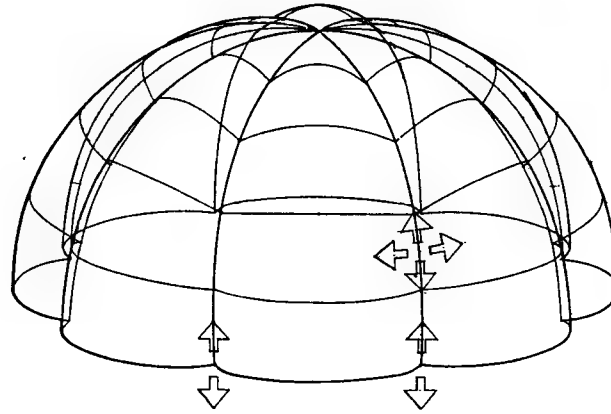
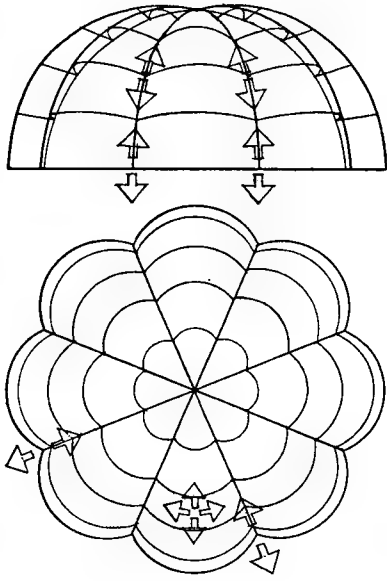
Вакуумные системы являются типом несущей конструкции не для себя, а для стабилизации несущих (висячих) мембран.



Структурное сравнение: системы избыточного давления и вакуумные системы

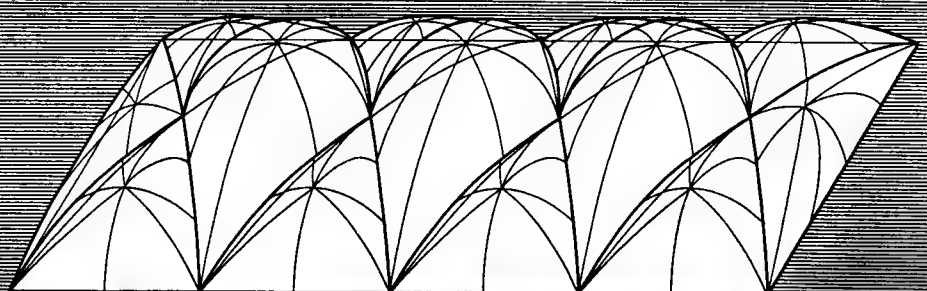
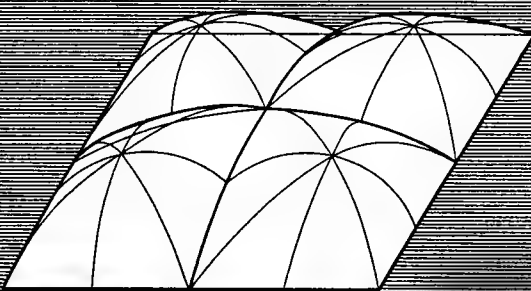
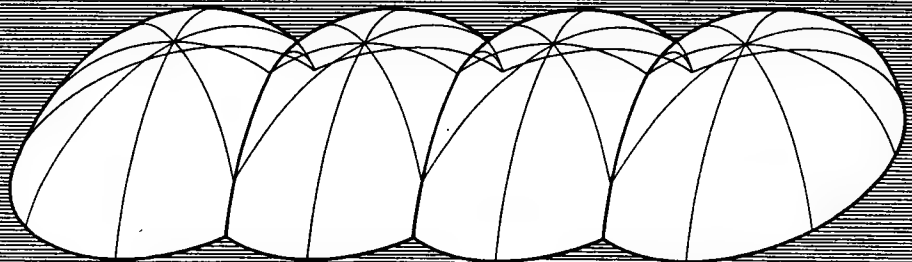
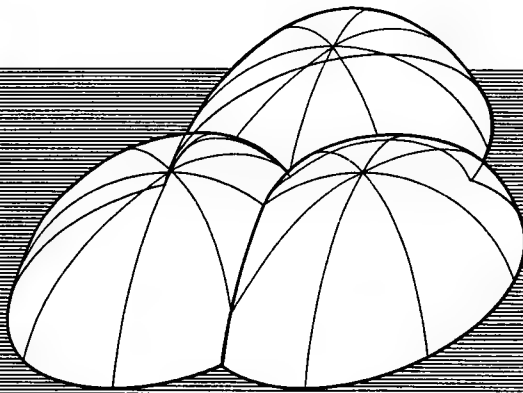
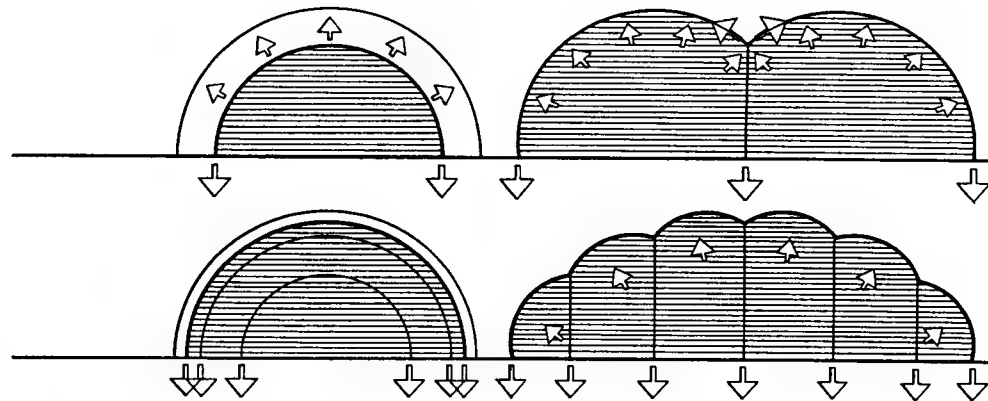


# ВОЗДУХООПОРНЫЕ СИСТЕМЫ С ОТВЕДЕНИЕМ ОСНОВНОЙ НАГРУЗКИ ПОСРЕДСТВОМ ВАНТ

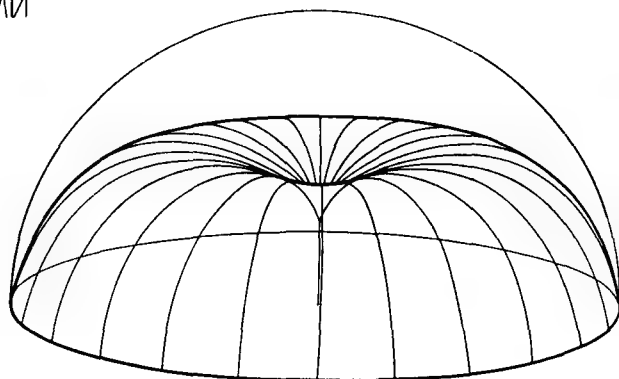
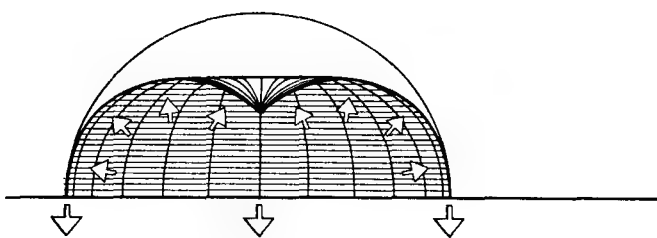
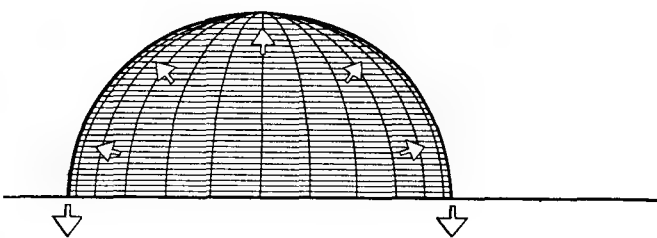


Стабилизация формы сферической оболочки сильно улучшается с включением отдельных вантовых многоугольников и разработкой отдельных сегментов мембран большего изгиба. Таким образом, становятся возможны замкнутые воздушные пространства с большими пролетами.

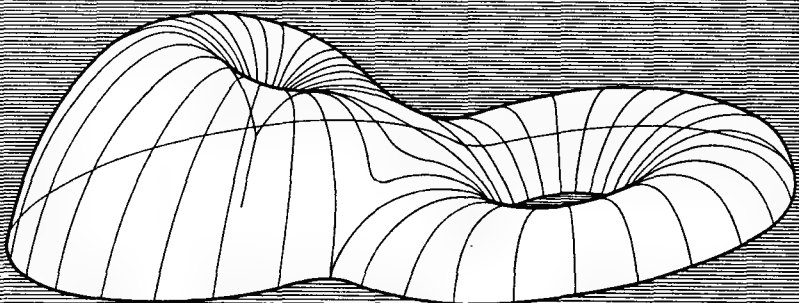
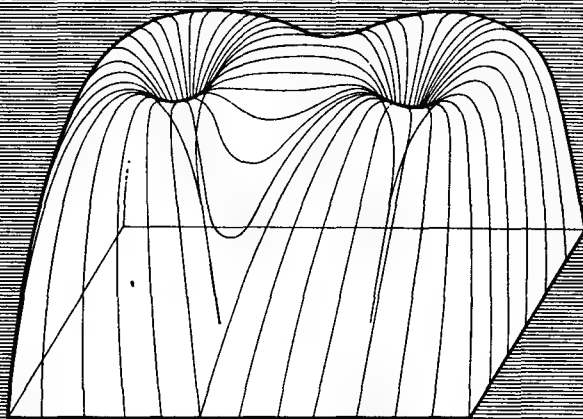
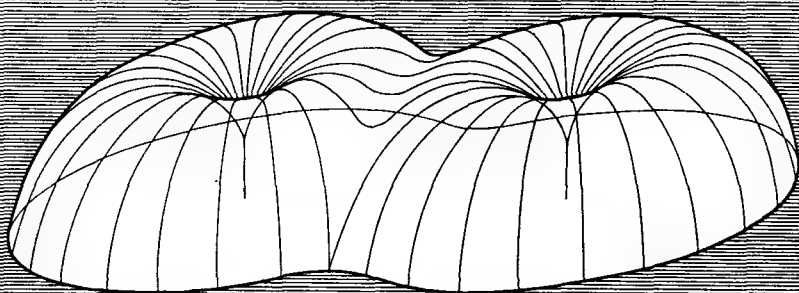
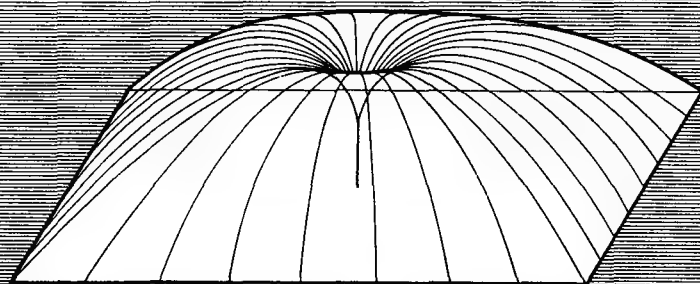
Благодаря перетяжкам отдельными вантами поверхность купола может быть разделена на отдельные поверхности с меньшим радиусом кривизны. Ванты отводят основные силы, в то время как мембраны выполняют функцию промежуточных опор.

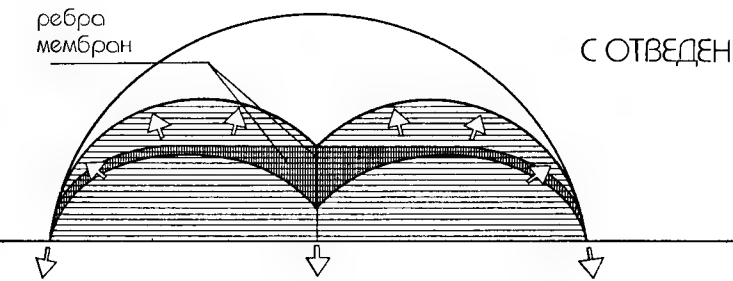


## ВОЗДУХООПОРНЫЕ СИСТЕМЫ С ЗАНИЖЕННЫМИ ВЕРШИНАМИ



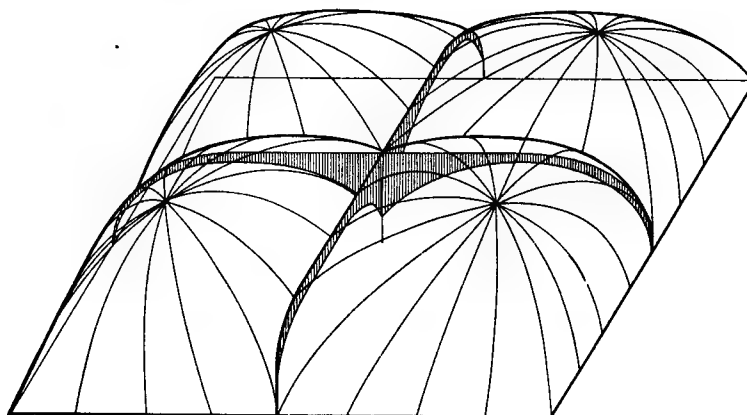
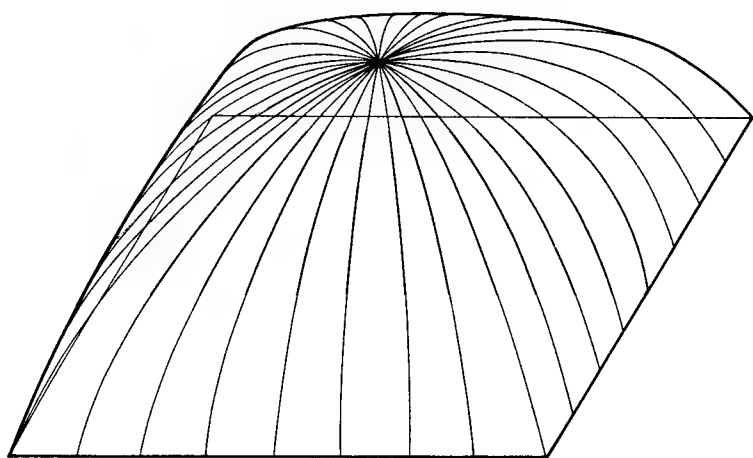
Из-за анкерки мембран не только на краях, но и в центральной части уменьшаются радиусы кривизны и вместе с тем – напряжение мембран. Благодаря этому возможно перекрытие и замыкание пространств конструкциями, не отличающимися большой высотой.



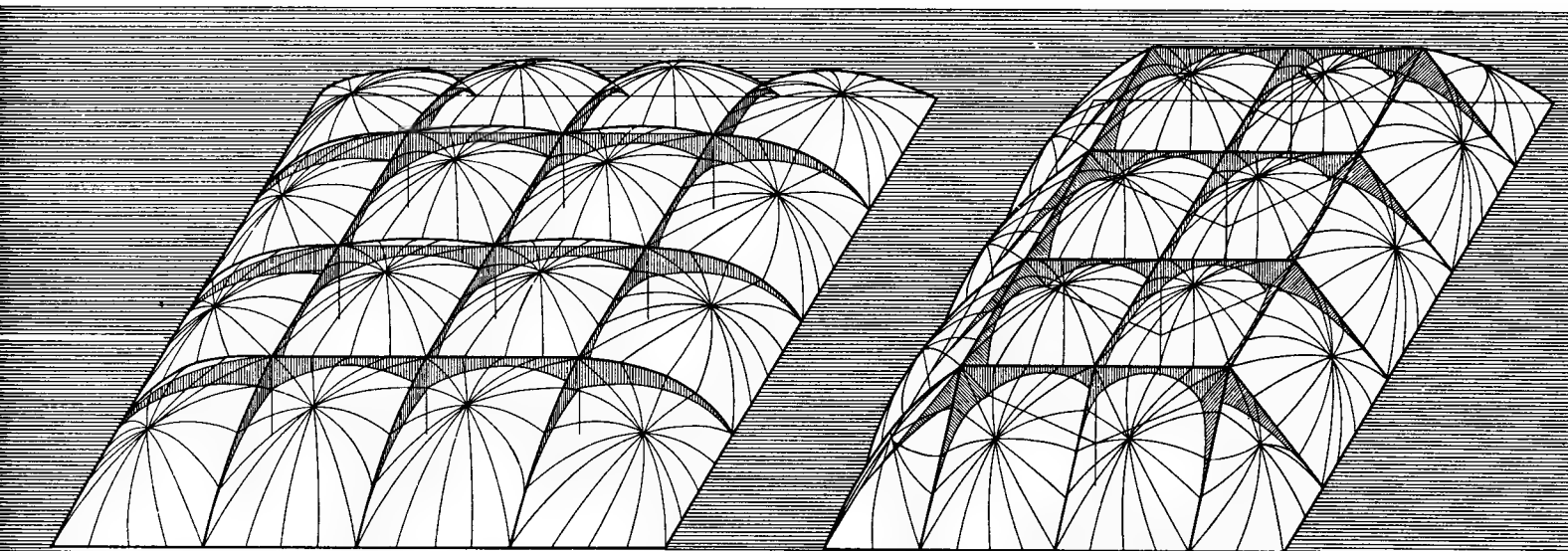
ребра  
мембран

### ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ С ОТВЕДЕНИЕМ ОСНОВНОЙ НАГРУЗКИ МЕМБРАННЫМИ РЕБРАМИ

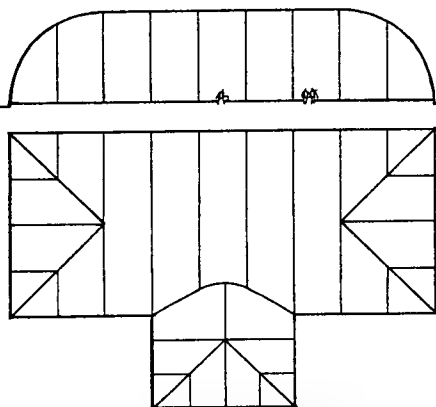
Вместо отдельных вант поверхность купола может быть разделена также вертикальными, оттянутыми вниз мембранными поверхностями (мембранные ребра) на более мелкие поверхности с небольшим радиусом кривизны и, вследствие этого, с малыми мембранными напряжениями. Возможно образование прямых разжелобков, которые могут перекрыть очень большие помещения.



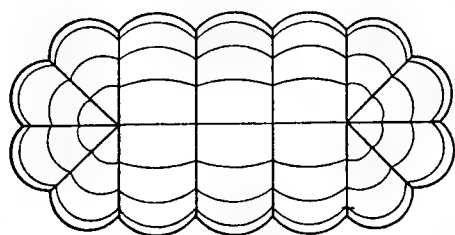
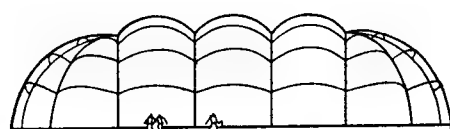
образование мембранных ребер



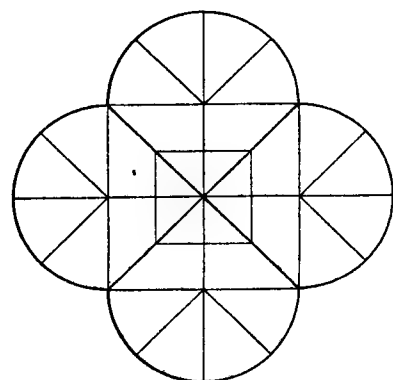
## ВОЗДУХООПОРНЫЕ СИСТЕМЫ



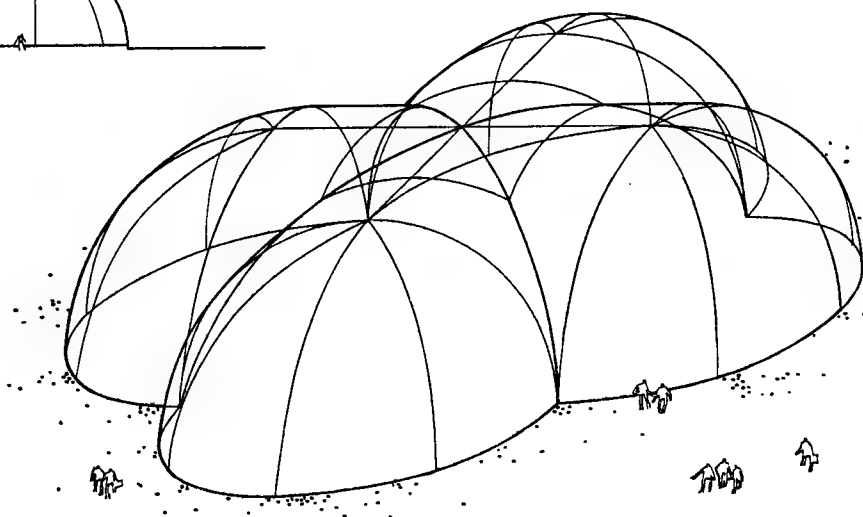
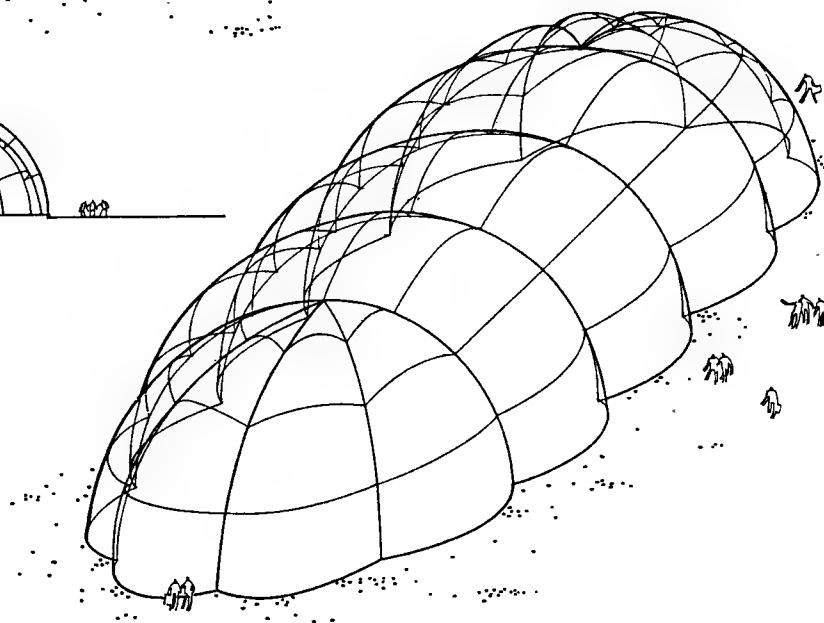
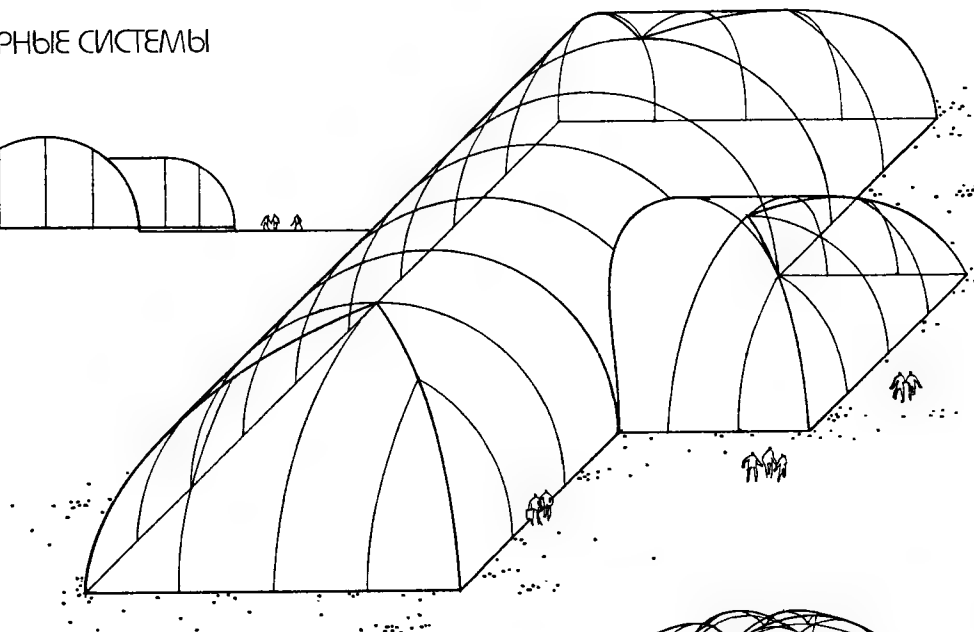
Цилиндрические мембраны  
как первичные несущие элементы



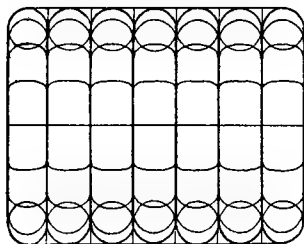
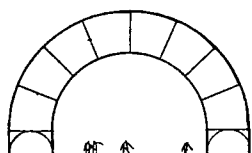
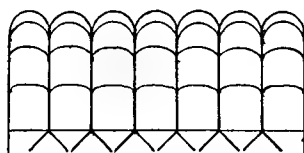
Мембраны в виде круглых валиков  
между вантовыми затяжками



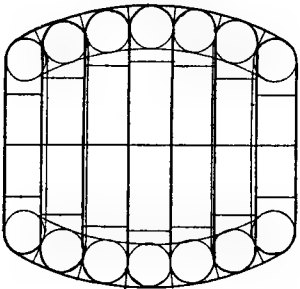
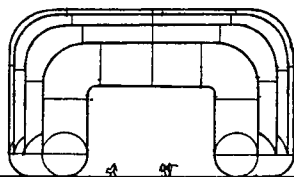
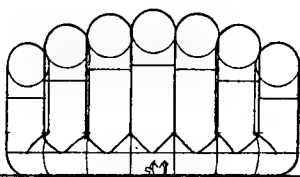
Перекрывающиеся цилиндрические  
и сферические мембраны



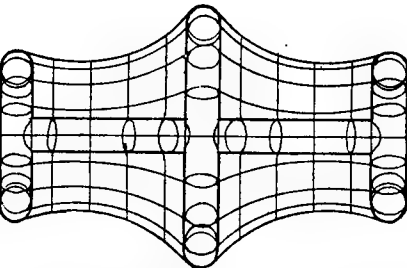
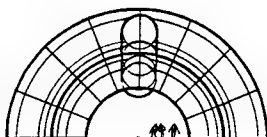
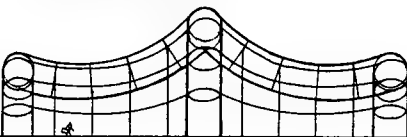
## СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ РУКАВОВ



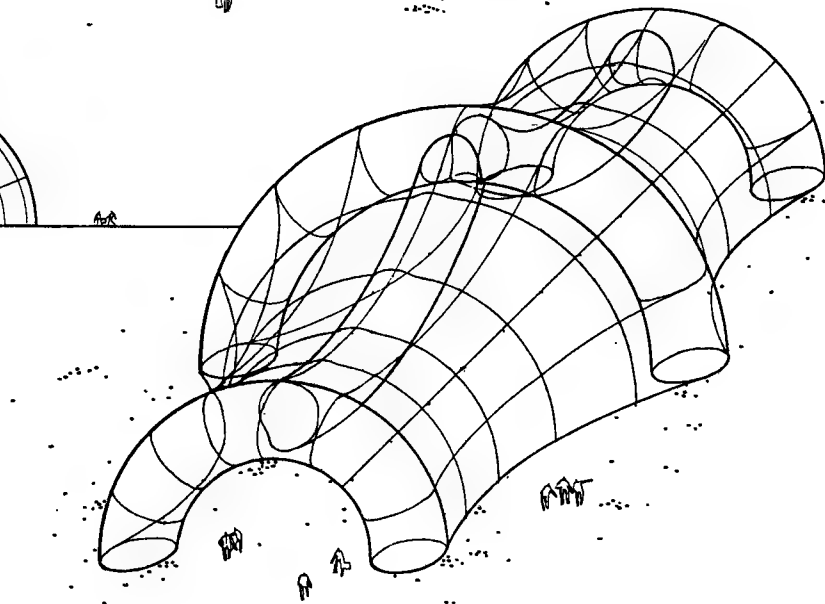
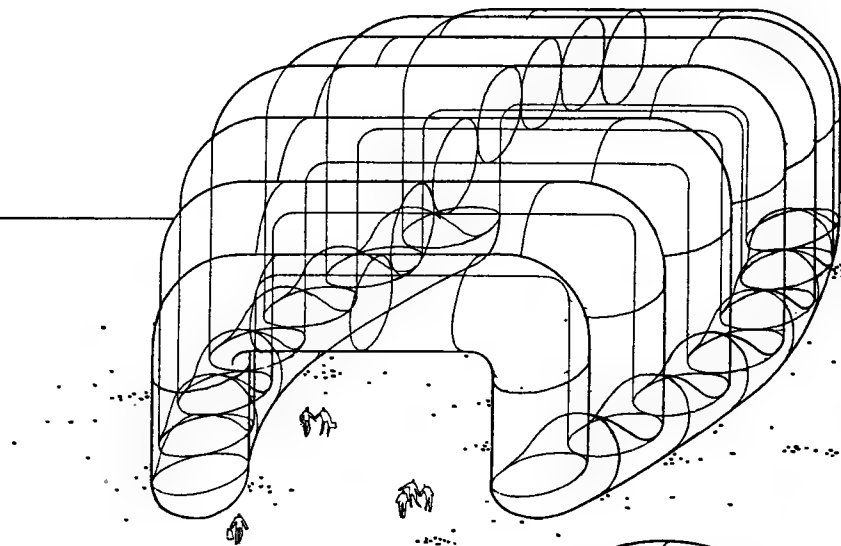
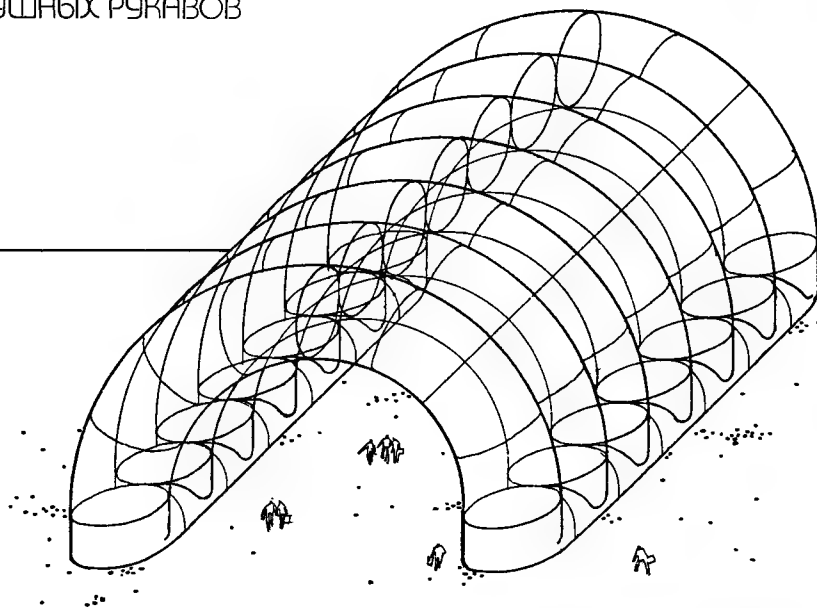
Арки из рукавов. Расположенные в ряд пневмоарки



Пневморамы, установленные на изогнутой основе

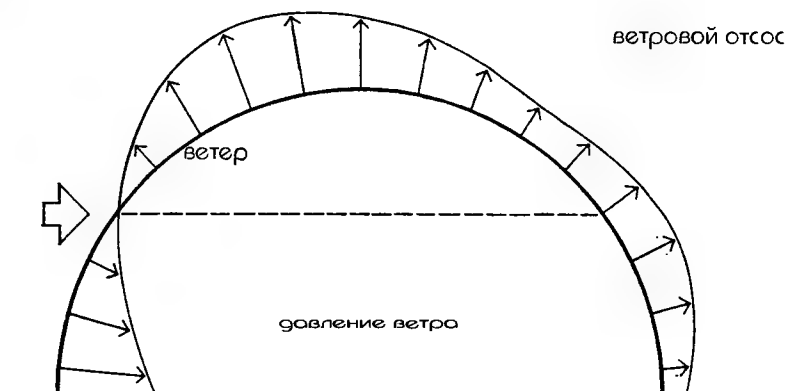


Изогнутый пневмокаркас с замыканием пространства посредством вантовой сетки или мембран

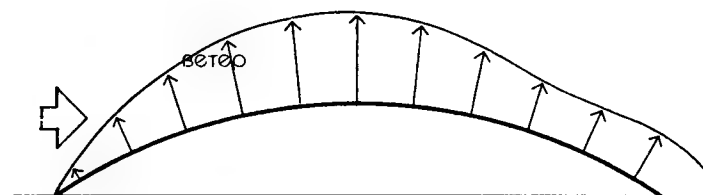


## РАЗВИТИЕ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУХООПОРНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК С ВАНТОВОЙ СЕТКОЙ

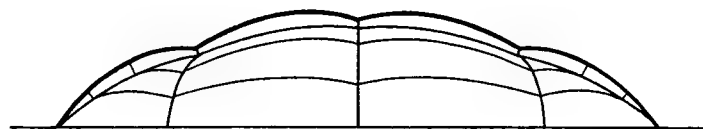
Ветровая нагрузка полукруглого купола  
Дополнительное внутреннее давление воздуха необходимо для стабилизации оболочки от сил давления ветра.



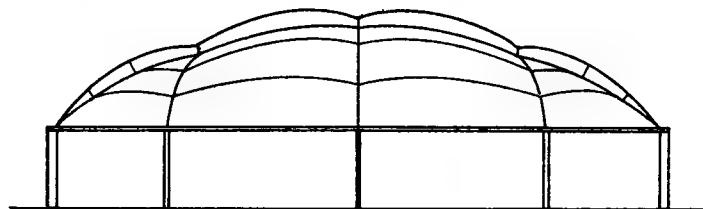
Восстановление профиля с плоскими сегментами  
Мембрана нагружена только отрицательным давлением ветра; однако из-за уменьшения кривизны мембраны необходимо избыточное дополнительное внутреннее давление для ее стабилизации.



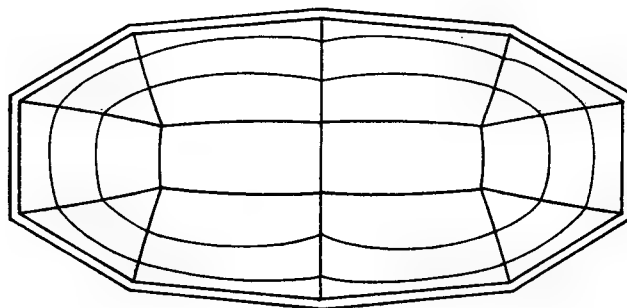
Отведение основной нагрузки с помощью вант. Разгрузка мембраны с помощью вантовой затяжки/действительная стабилизация с помощью увеличения кривизны мембраны



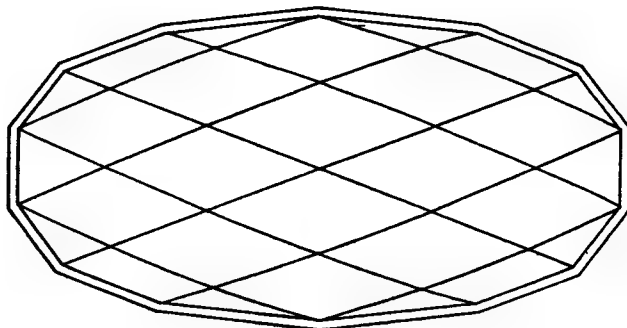
Поднятие пологого купола  
Расширение воздушного внутреннего пространства с помощью поднятия анкерочной поверхности (вместо анкеровки в грунт, как при стандартных воздухоопорных системах).



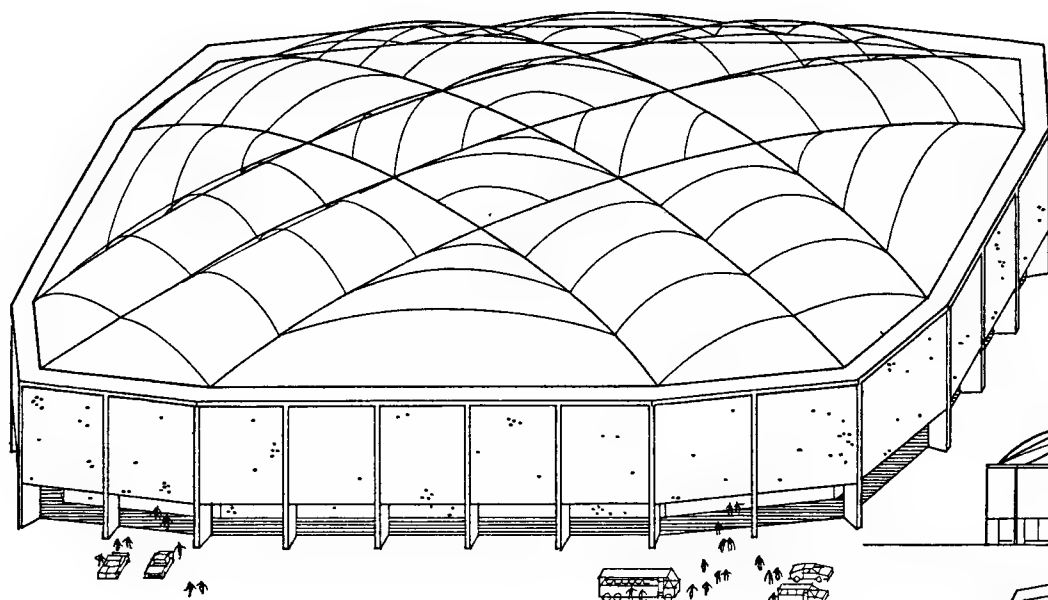
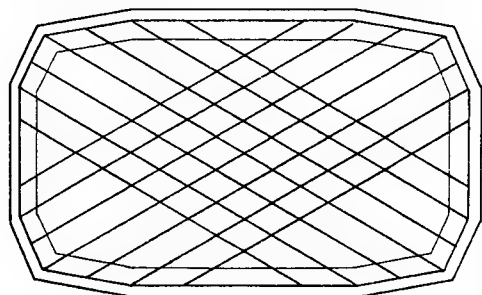
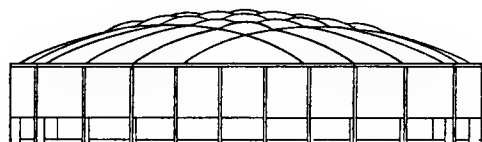
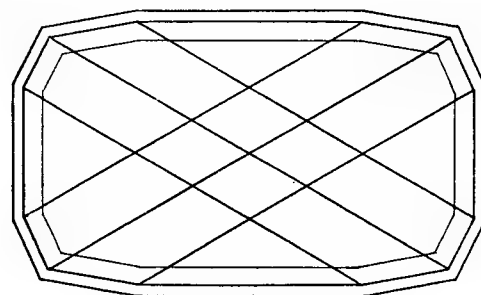
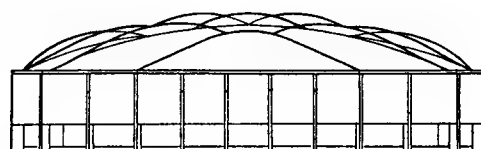
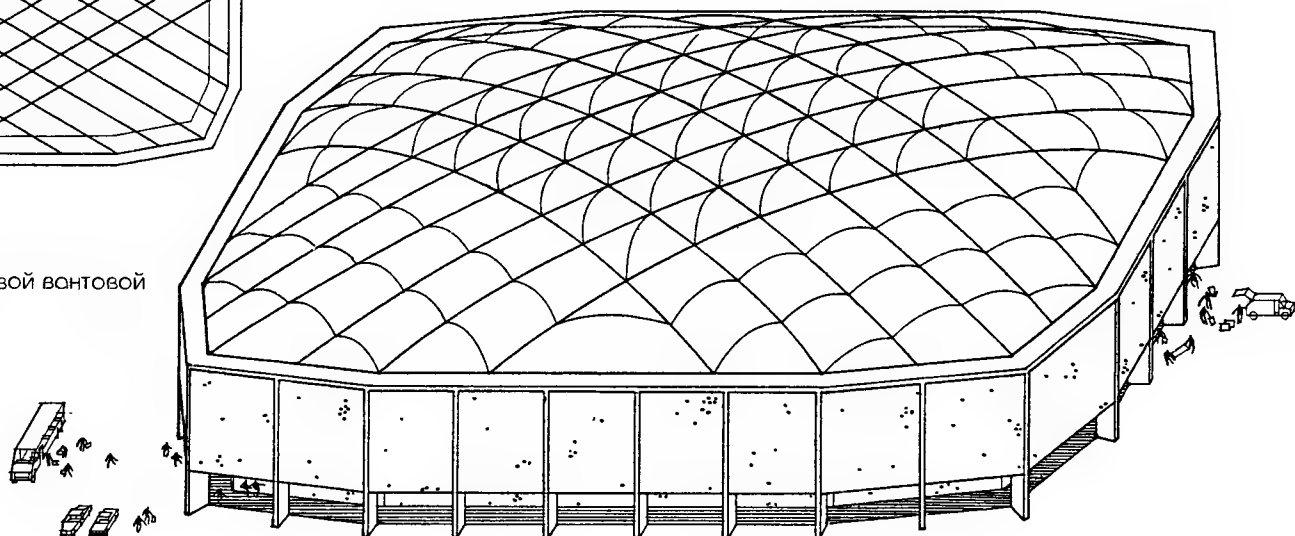
Формирование кольцевой опоры  
Вантовое формирование кольцевой опоры (горизонтальных опорных арок) в соответствии с вантовыми усилиями для снижения напряжений на изгиб.

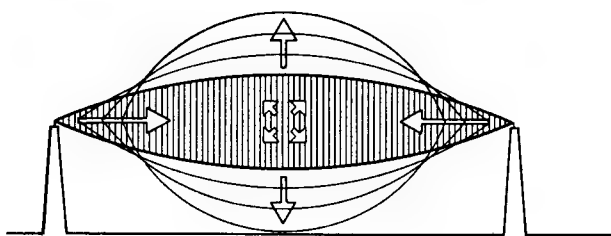


Уплотнение оттяжек с помощью вантовой сетки  
Рост стабилизации вследствие связующего действия вантовых затяжек при одновременном уменьшении модулей деления мембранных сегментов.



## ПОЛОГИЕ КУПОЛА С ВАНТОВЫМИ ЗАТЯЖКАМИ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ

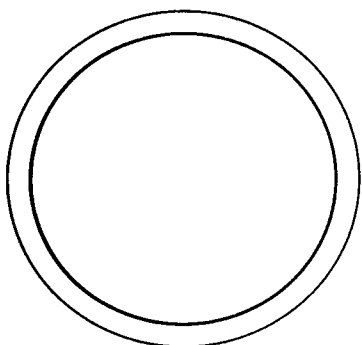
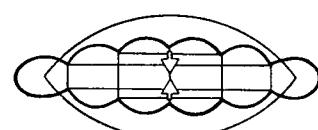
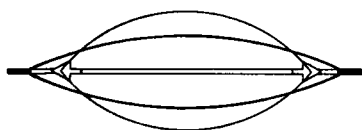
Мембраны с отдельными  
вантовыми затяжкамиМембраны с сетевой вантовой  
затяжкой



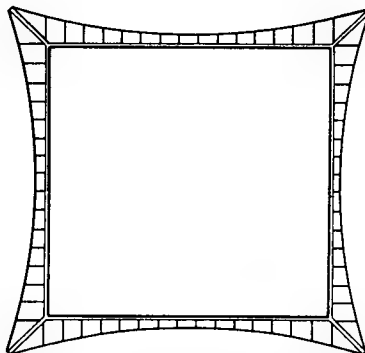
## УДЕРЖИВАЮЩАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНЫХ ПОДУШЕК

Благодаря нижнему замыканию пространства избыточного давления с двойной мембраной могут создаваться пространства, которые открыты наружу. Предпосылкой для механики сопротивления является то, что сферическое вспучивание в середине предотвращается вследствие внутреннего давления.

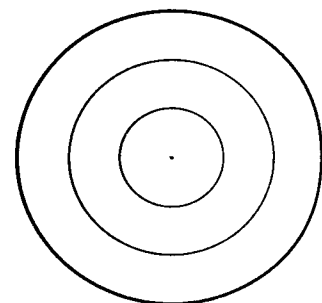
## УДЕРЖИВАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ ПОДУШЕК



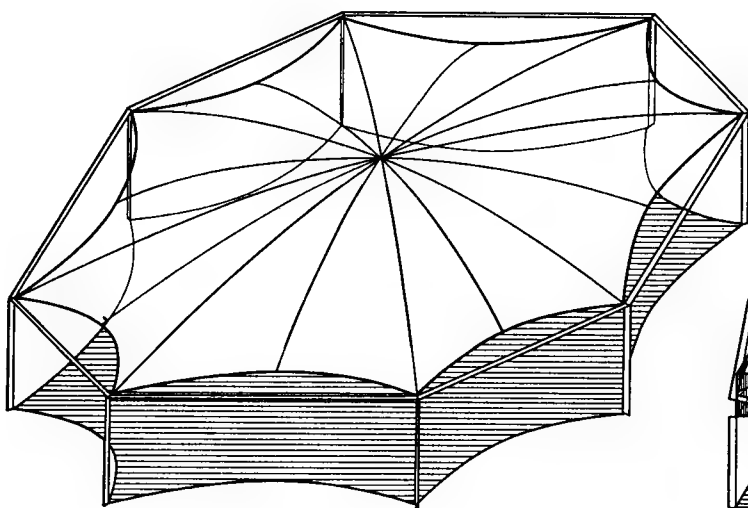
Крепление по краю с помощью кольца, работающего на сжатие



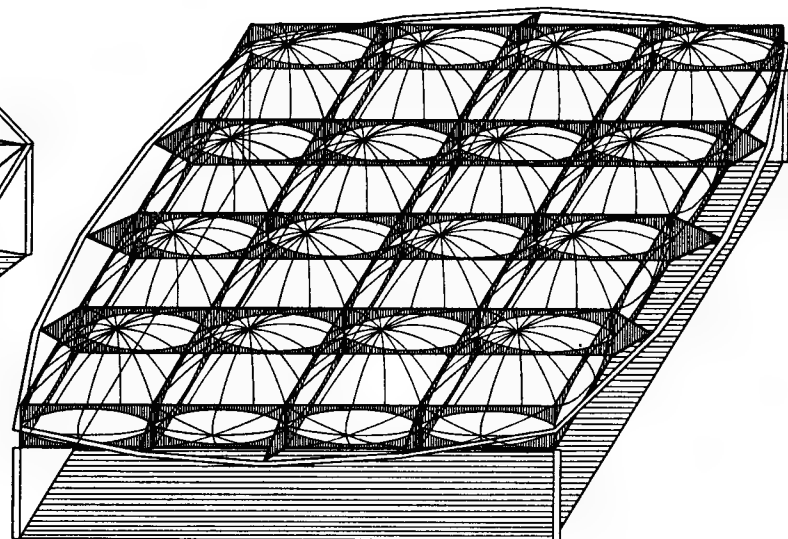
Крепление по краю с помощью сжатого стержня и несущей ванты



Контроль высоты с помощью внутренней ванты или ребер



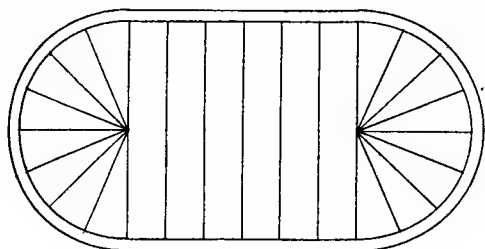
Однокамерная система со сжатыми стержнями по кругу в качестве удерживающего механизма



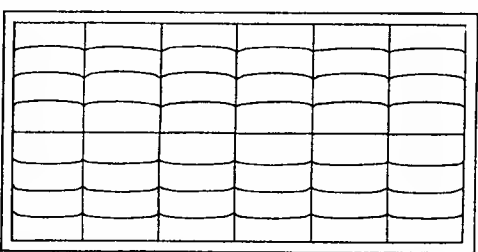
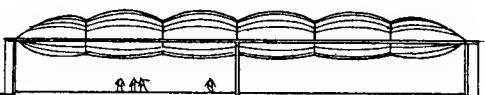
Многокамерная система с мембранными ребрами и арками в качестве удерживающего механизма



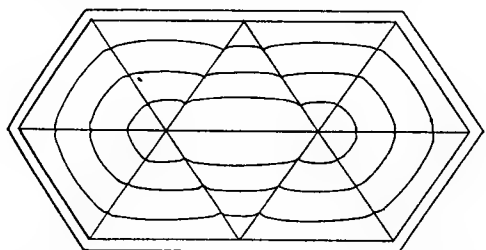
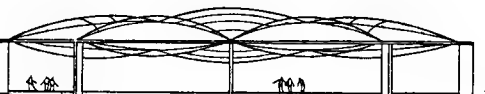
## СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ ПОДУШЕК



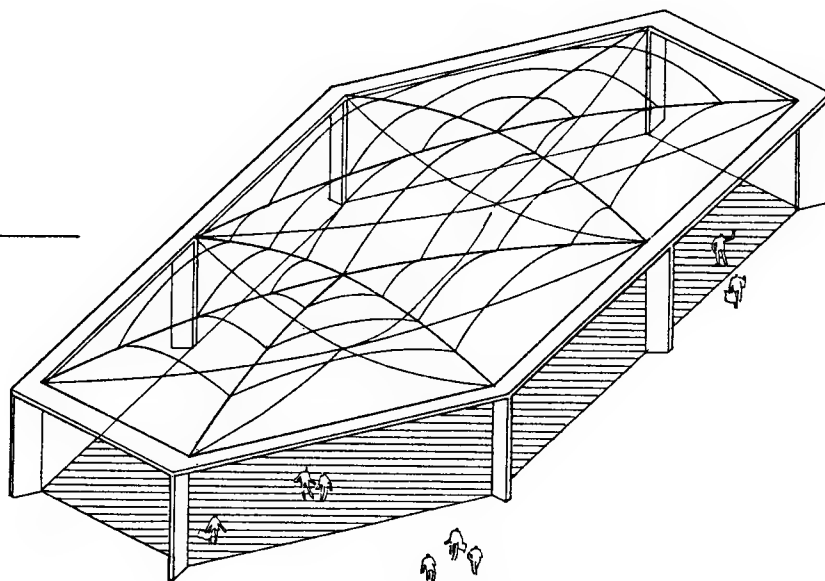
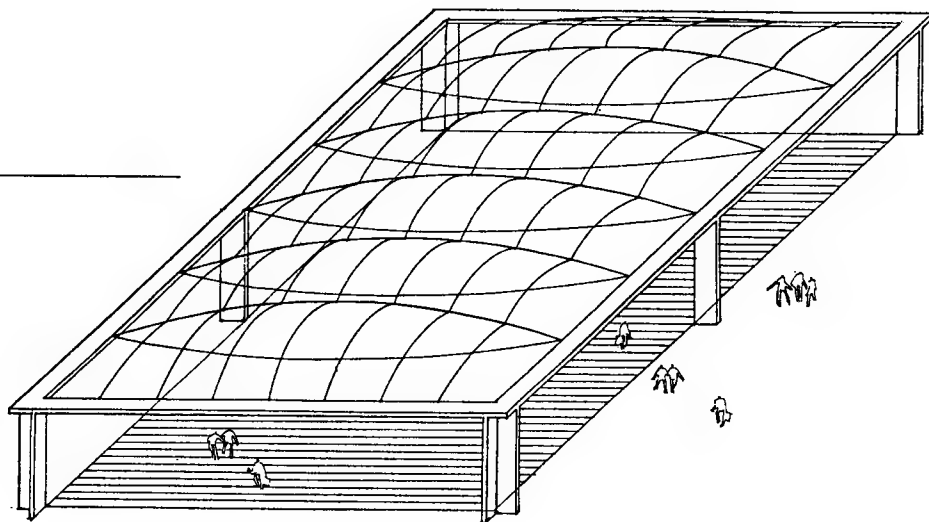
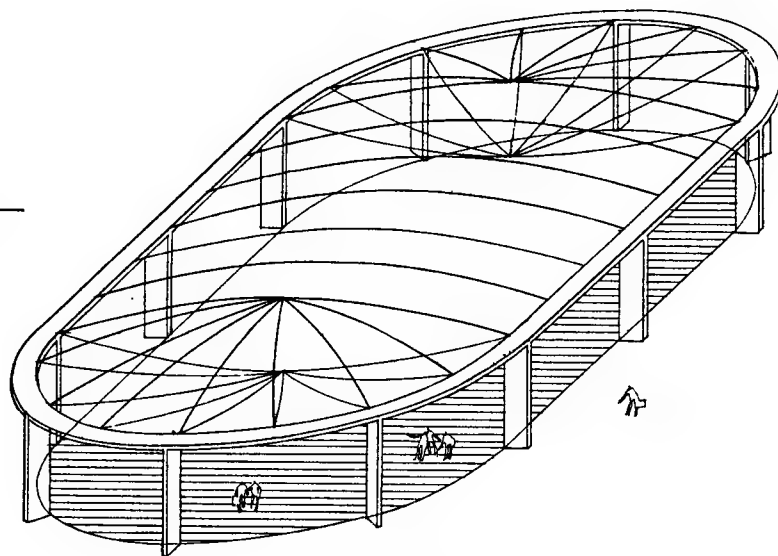
Сферические и цилиндрические мембраны  
в качестве первичного несущего элемента

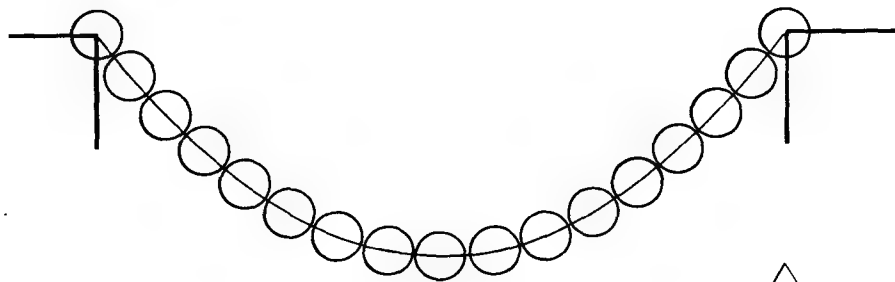


Мембраны между расположенными в ряд  
вантовыми затяжками

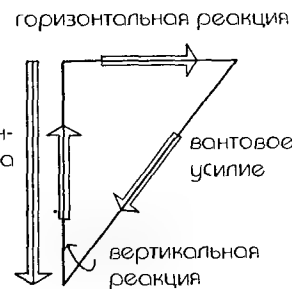
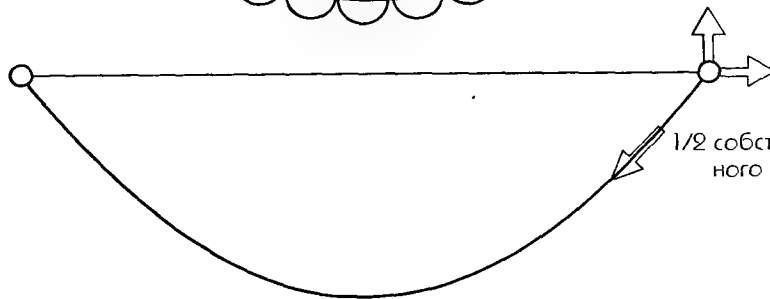


Мембранные сегменты между диагонально  
перекрещивающимися вантовыми затяжками



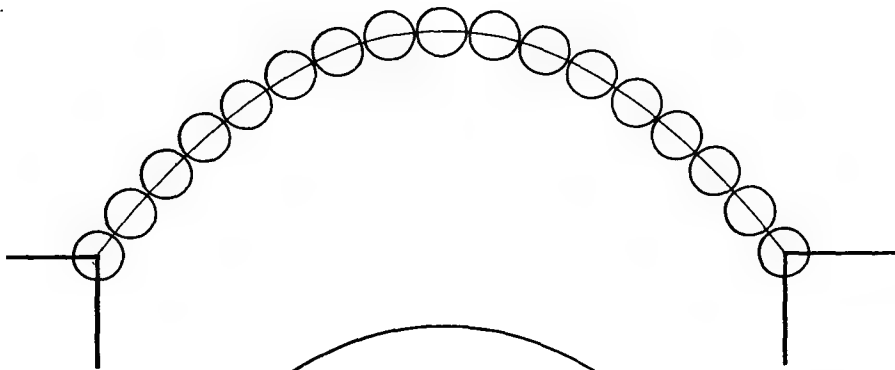


НЕСУЩАЯ ВАНТА И НЕСУЩАЯ АРКА:  
НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ

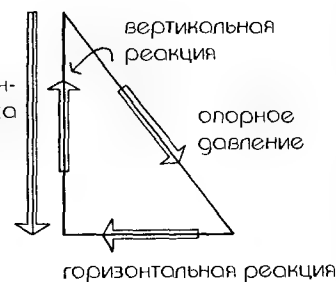


несущая ванта

Несущая ванта может воспринимать только силы растяжения. Под тяжестью собственного веса она принимает форму целной линии.

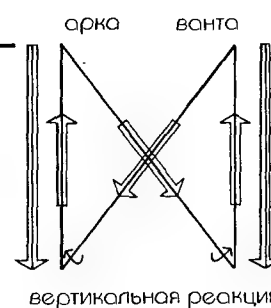
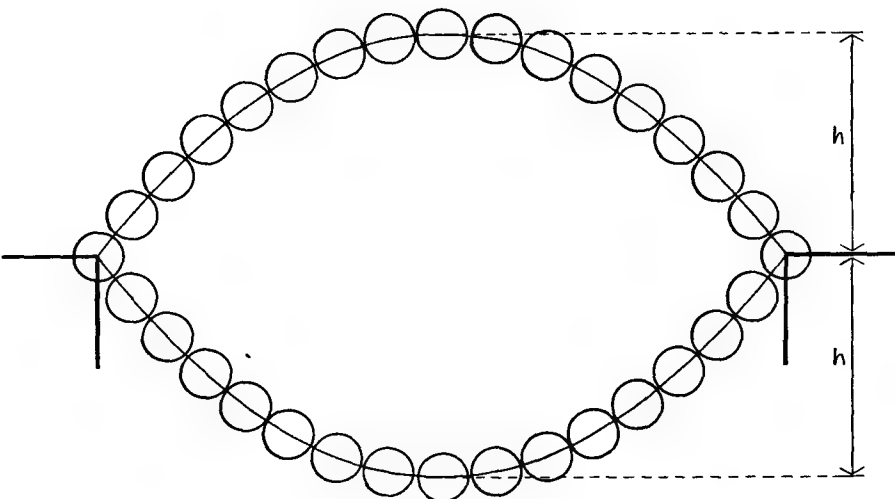


1/2 собственного веса



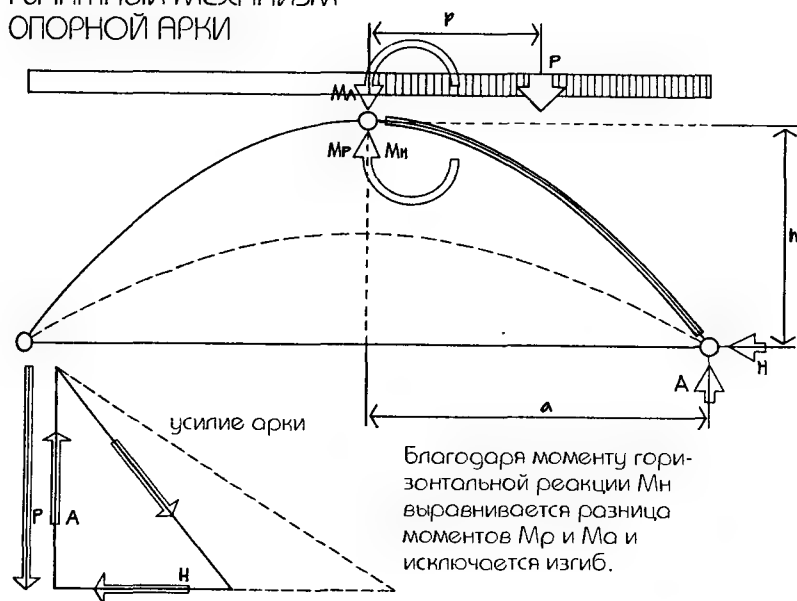
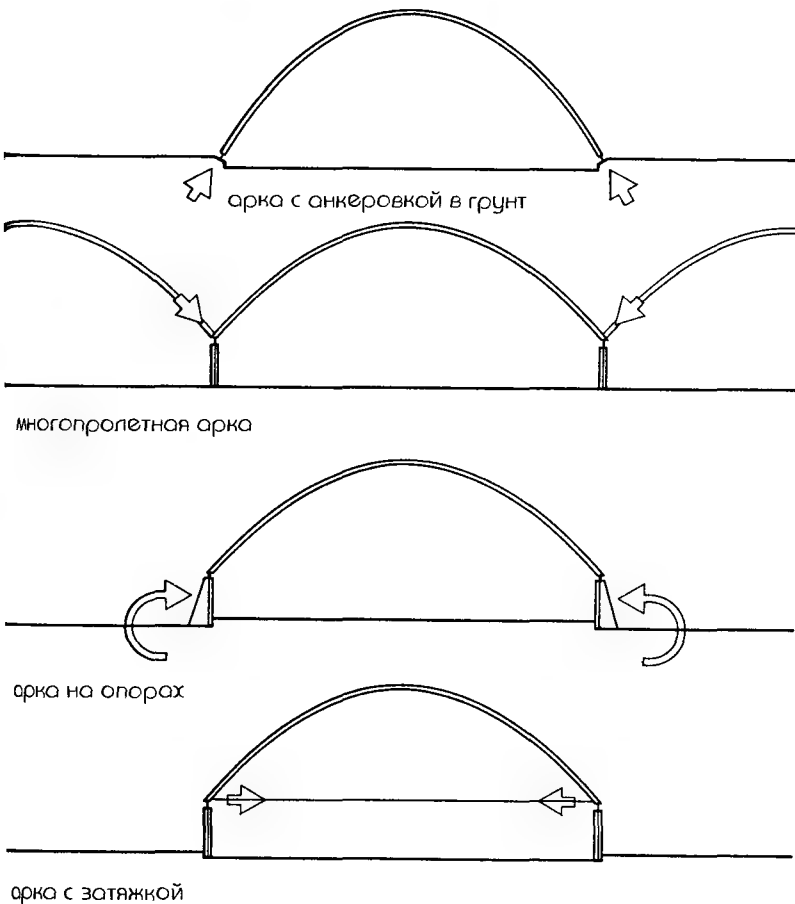
несущая арка

«Перевернутая несущая ванта» воспринимает только силы сжатия, причем той же величины, что и величины растягивающих усилий в несущей ванте. Поэтому опорная линия дуги под тяжестью собственного веса представляет собой обратную целную линию.



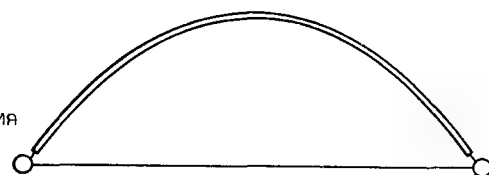
соединение опорной дуги  
и несущей ванта

Соединение несущей ванта и опорной арки не вызывает горизонтальной реакции, т. к. горизонтальные компоненты обеих противоположны и уравновешивают друг друга.

РЫЧАЖНЫЙ МЕХАНИЗМ  
ОПОРНОЙ АРКИАРОЧНЫЕ СИСТЕМЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ СПОСОБОМ  
ВОСПРИЯТИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПОРА

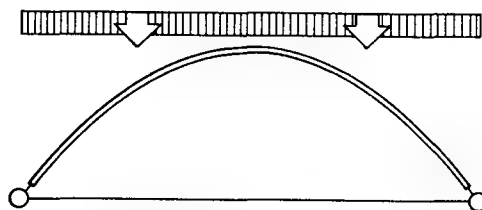
## Геометрические формы

Цепная линия

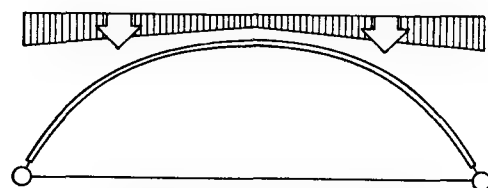


собственный вес

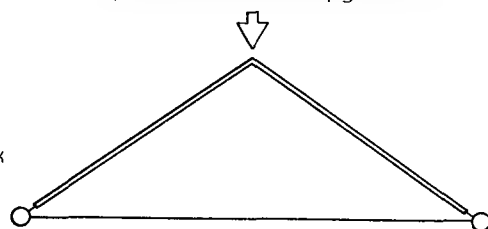
парабола

горизонтальная равномерно  
распределенная нагрузка

эллипс

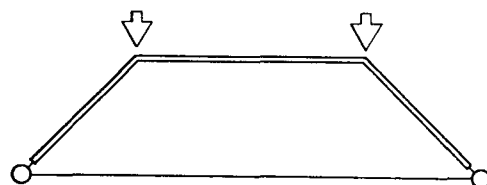
для опирания возрастающих  
растягивающих нагрузок

треугольник



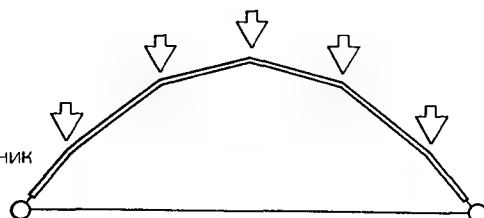
сосредоточенная нагрузка по центру

трапеция

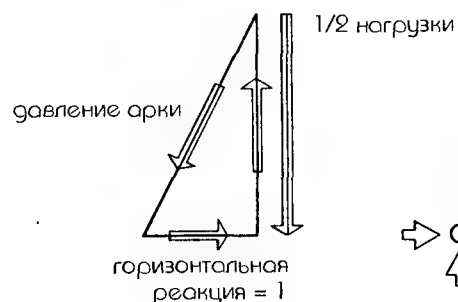


две сосредоточенные нагрузки

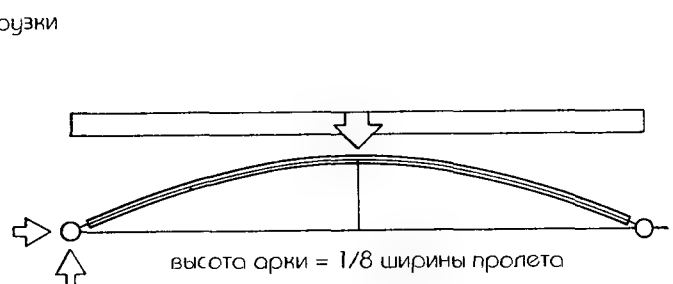
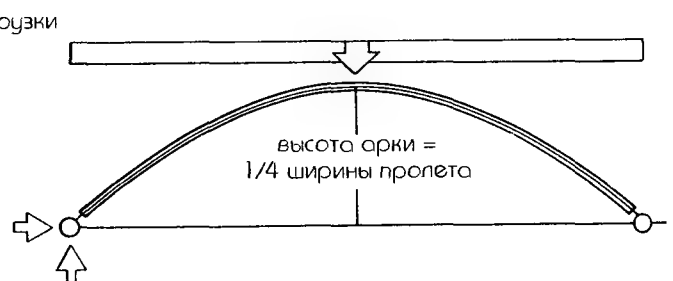
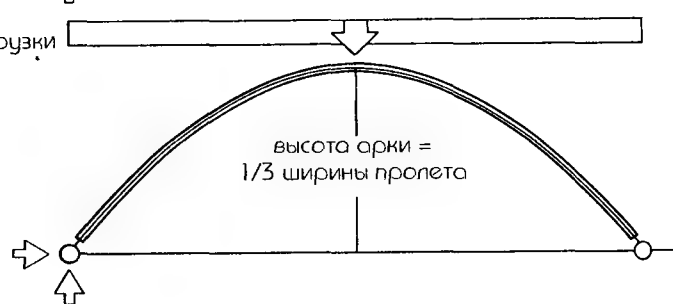
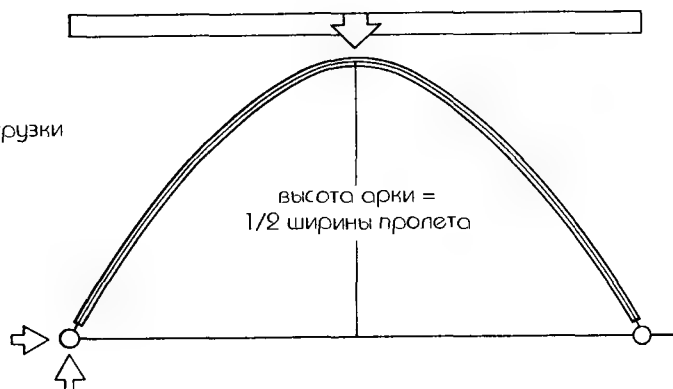
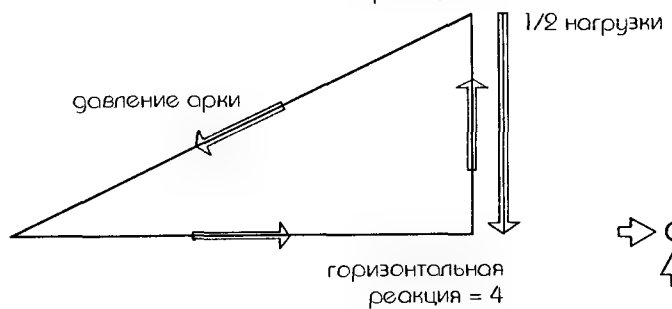
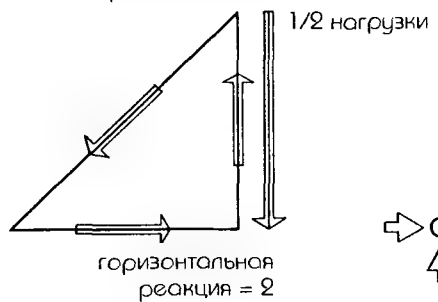
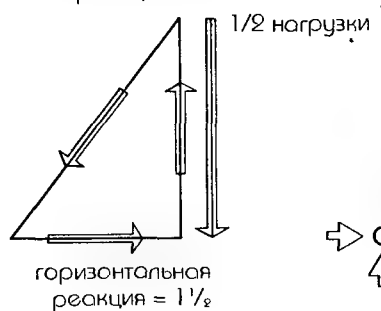
многоугольник

симметрично расположенные  
сосредоточенные нагрузки

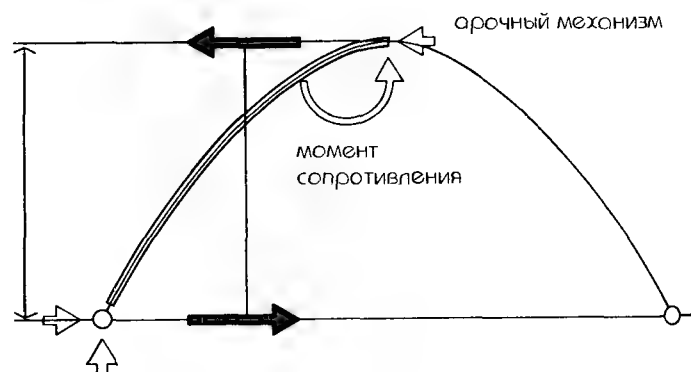
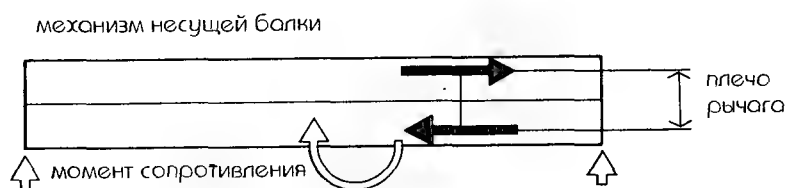
## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ АРКИ НА УСИЛИЯ В ОПОРАХ



Горизонтальный распор опорной арки обратно пропорционален ее высоте. Для уменьшения распора нужно было выбрать такую высоту, какую возможно.



## сравнение механизмов балки и арки

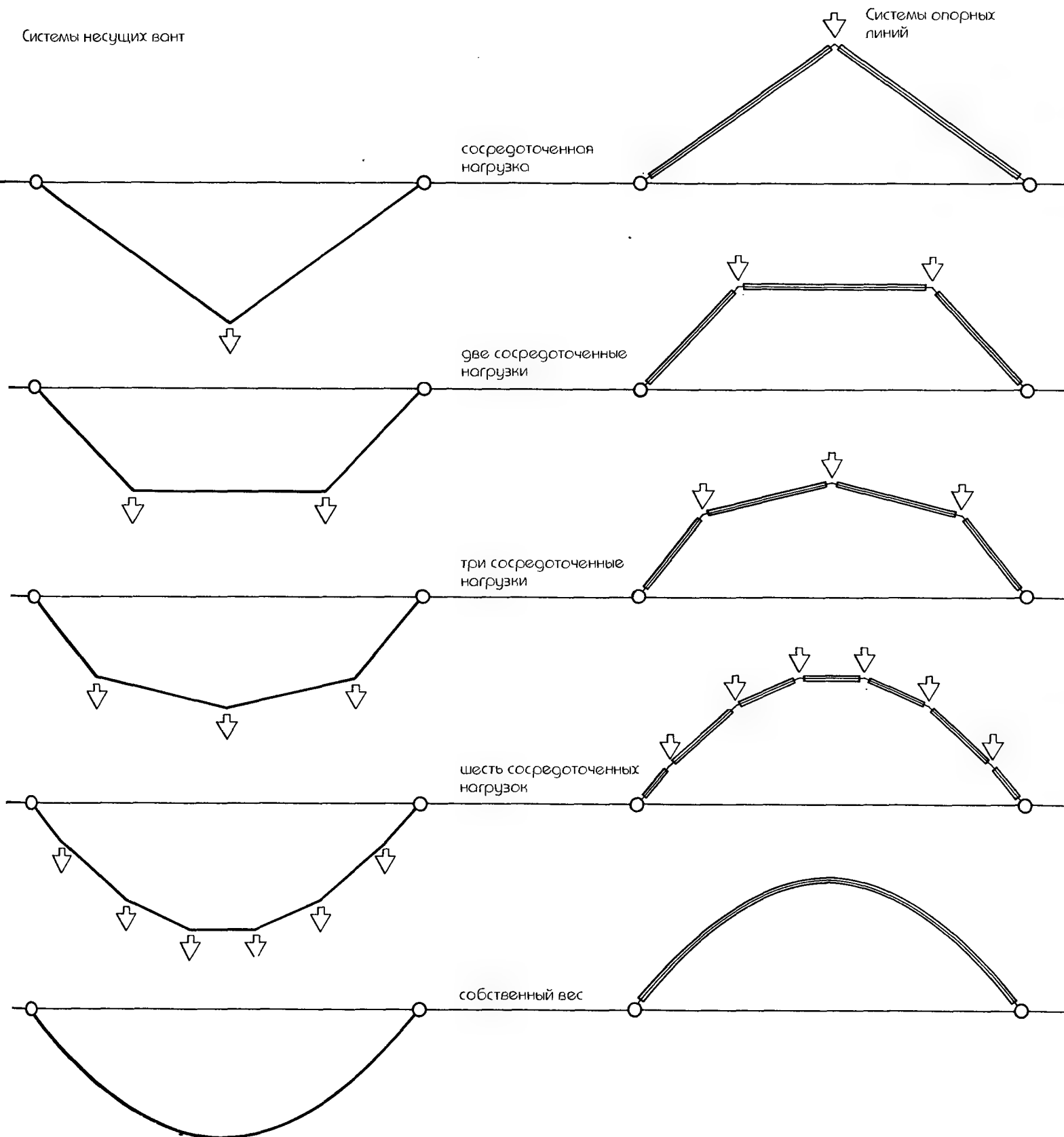


## ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НЕСУЩЕЙ ВАНТОЙ И ОПОРНОЙ АРКОЙ

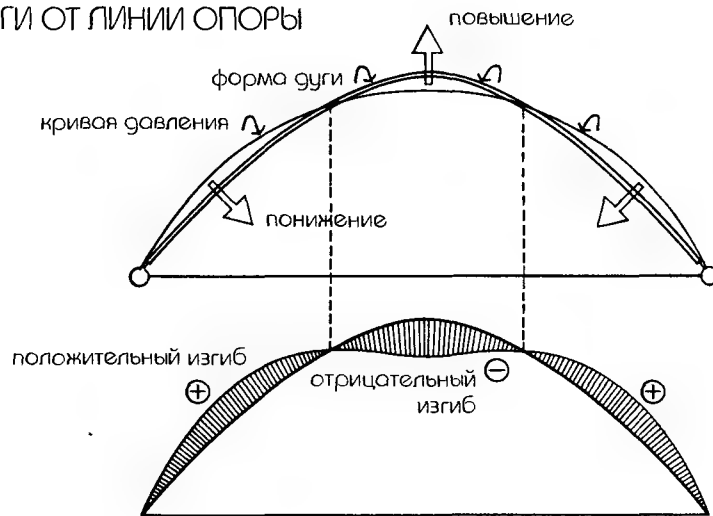
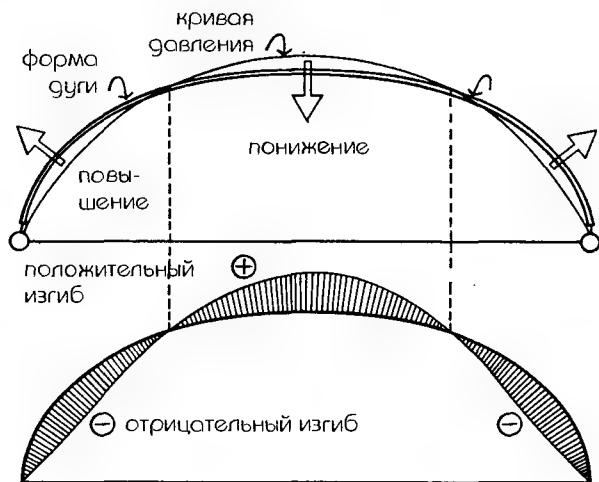
Системы несущих вант

Системы опорных  
линийсосредоточенная  
нагрузкадве сосредоточенные  
нагрузкитри сосредоточенные  
нагрузкишесть сосредоточенных  
нагрузок

собственный вес

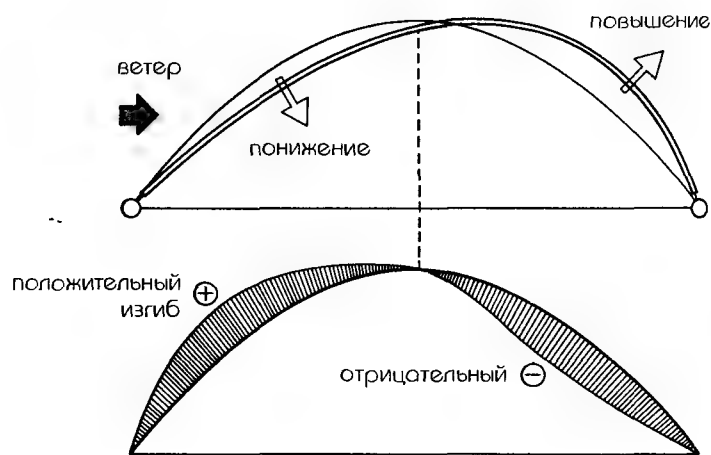
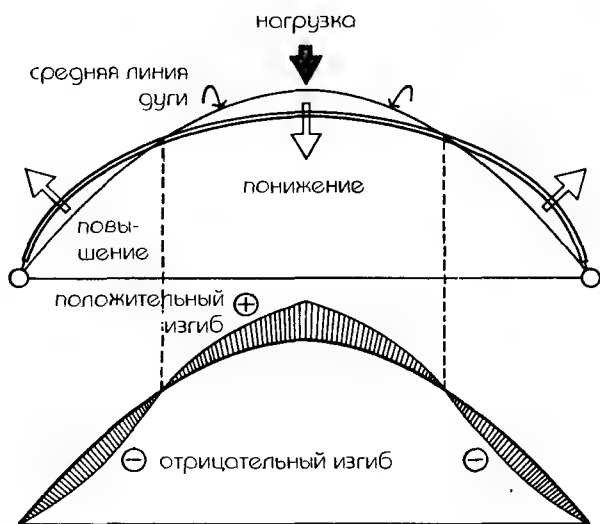


## ИЗГИБ ВСЛЕДСТВИЕ ОТКЛОНЕНИЯ СРЕДНЕЙ ЛИНИИ ДУГИ ОТ ЛИНИИ ОПОРЫ



Каждое отклонение средней линии дуги от кривой давления становится причиной того, что дуга либо поднимается, либо опускается, и вследствие этого получается изгиб.

## ИЗГИБ ВСЛЕДСТВИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК



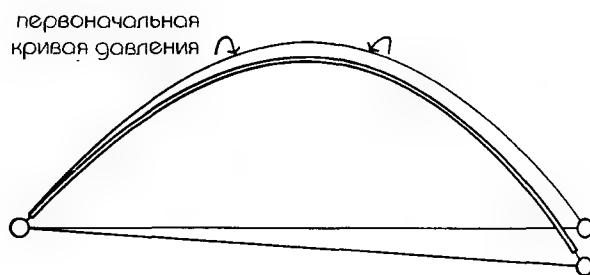
Каждая дополнительная нагрузка становится причиной того, что изменяется форма дуги и средняя линия отклоняется от кривой давления. Возникает изгиб.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

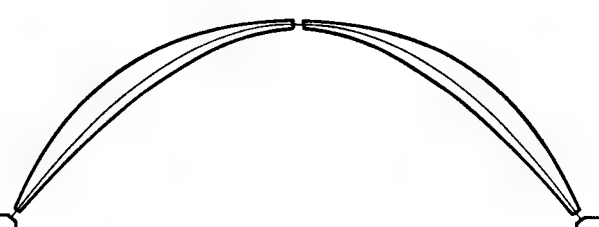
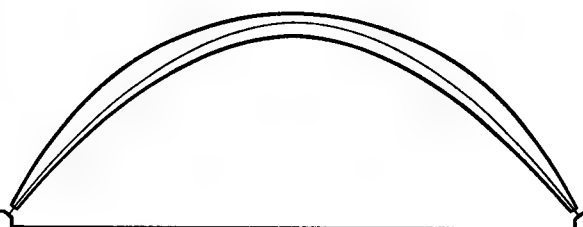
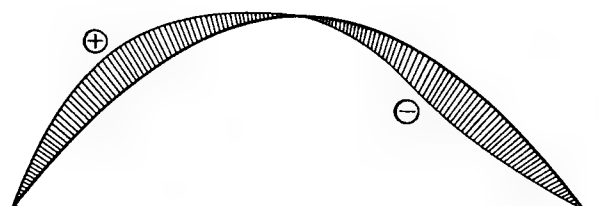
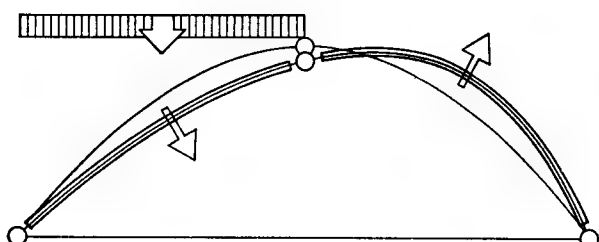
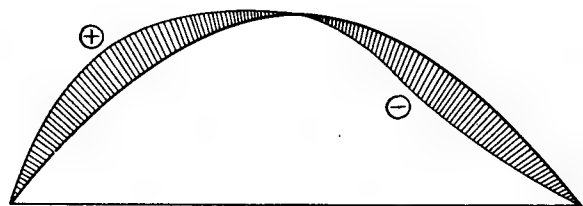
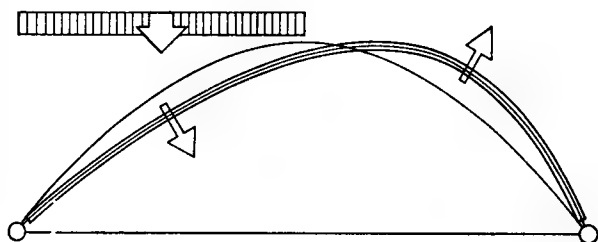
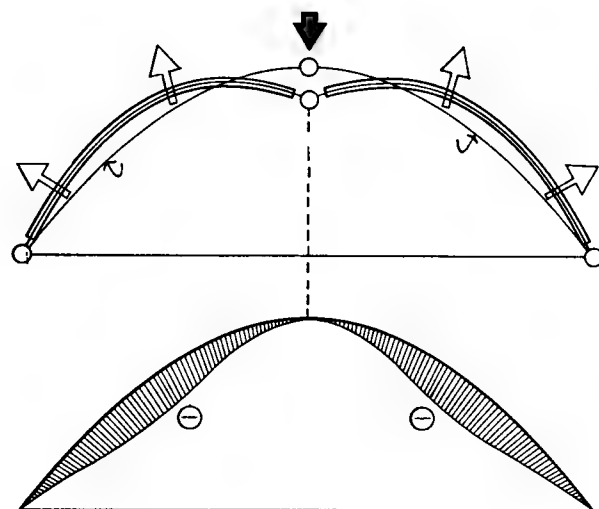
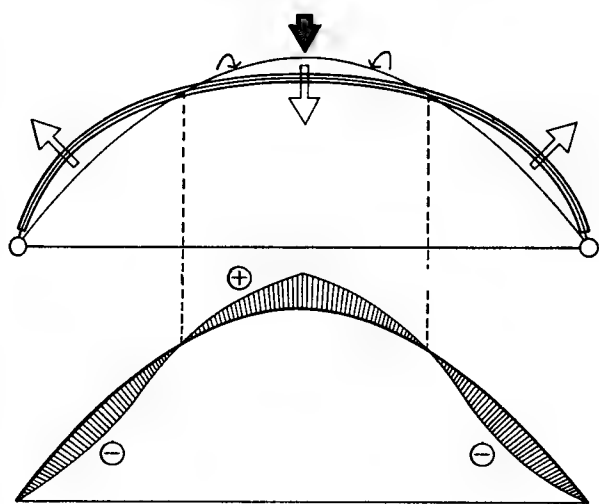


Сдвиг нагрузки вследствие неравномерной усадки вызывает изгиб.

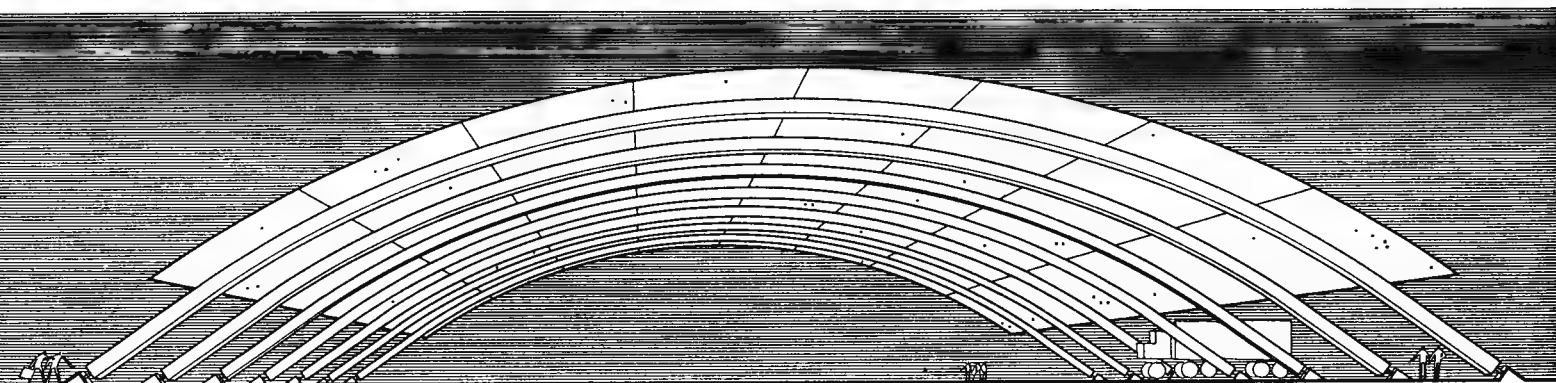
## ОСАДКА ФУНДАМЕНТА



Неравная нагрузка ведет к чрезмерному изгибу



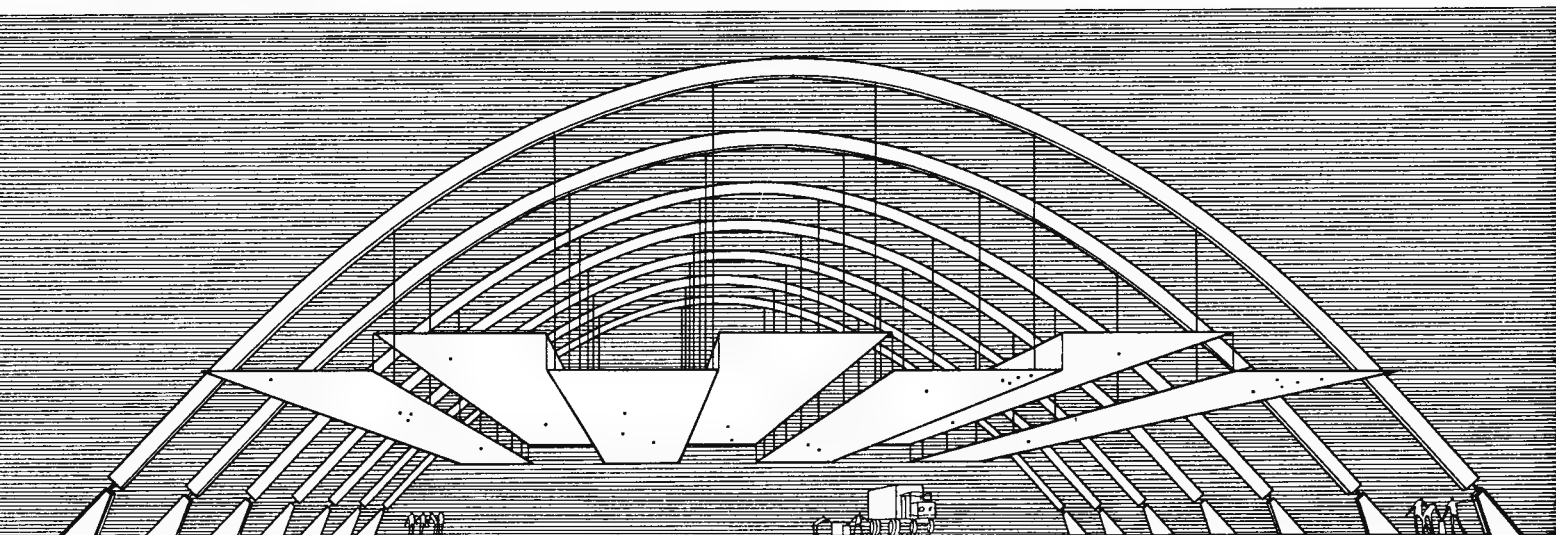
## БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ С ДВУХШАРНИРНЫМИ АРКАМИ



арки с анкерным креплением в грунте с лежащей сверху сводчатой конструкцией крыши

форма кривой давления = целная линия

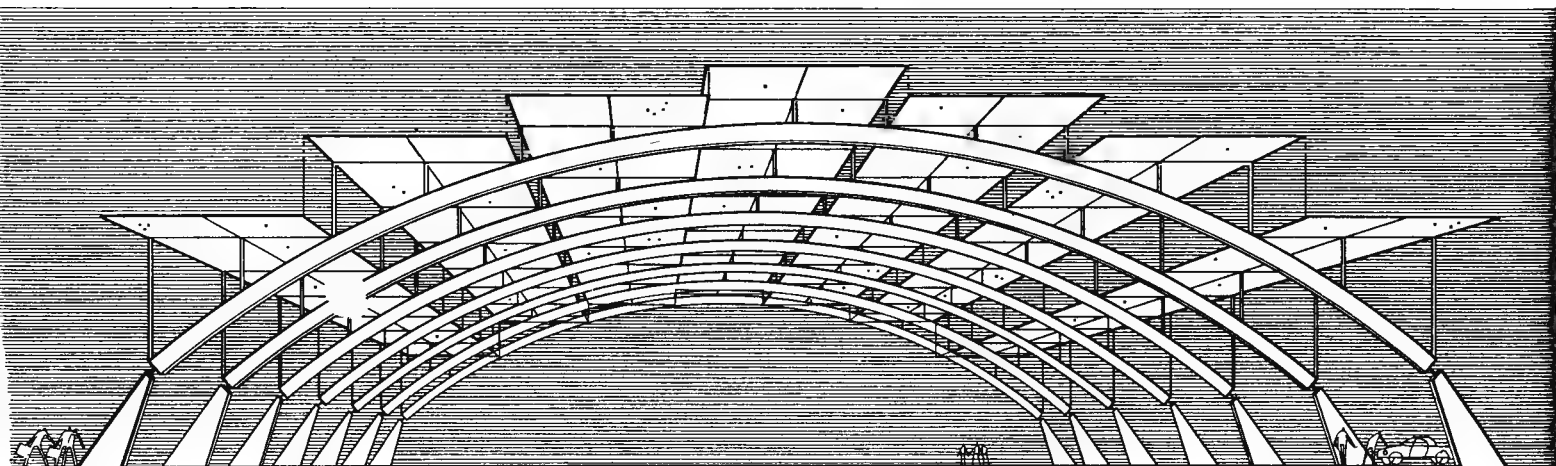
высота конструкции =  $1/5$  величины пролета



выносные арки с подвесной горизонтальной конструкцией крыши

форма кривой давления = параболический многоугольник

высота конструкции =  $1/3$  величины пролета



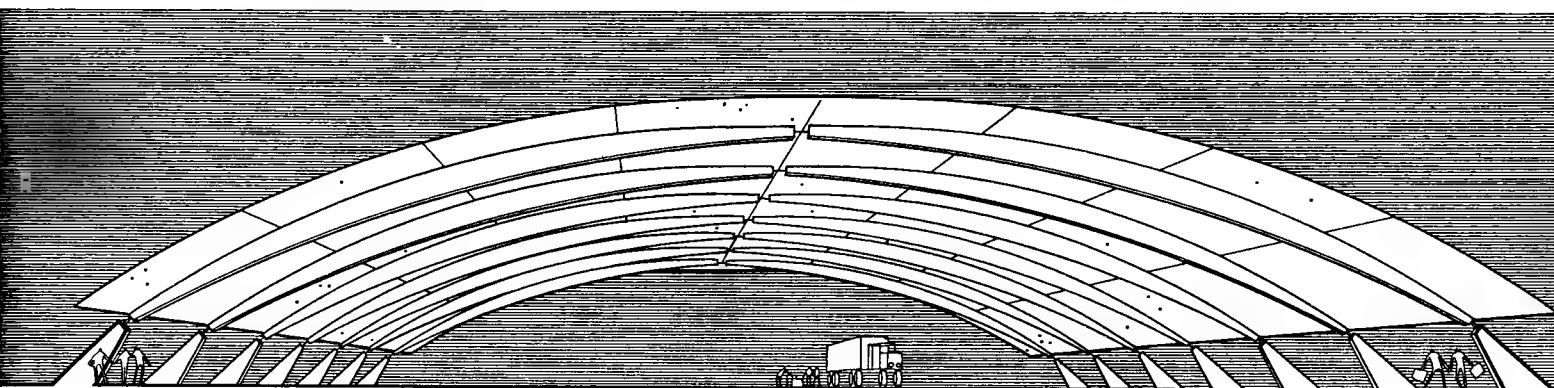
выносные арки с горизонтально установленной сверху конструкцией крыши

форма кривой давления = параболический многоугольник

высота конструкции =  $1/5$  величины пролета



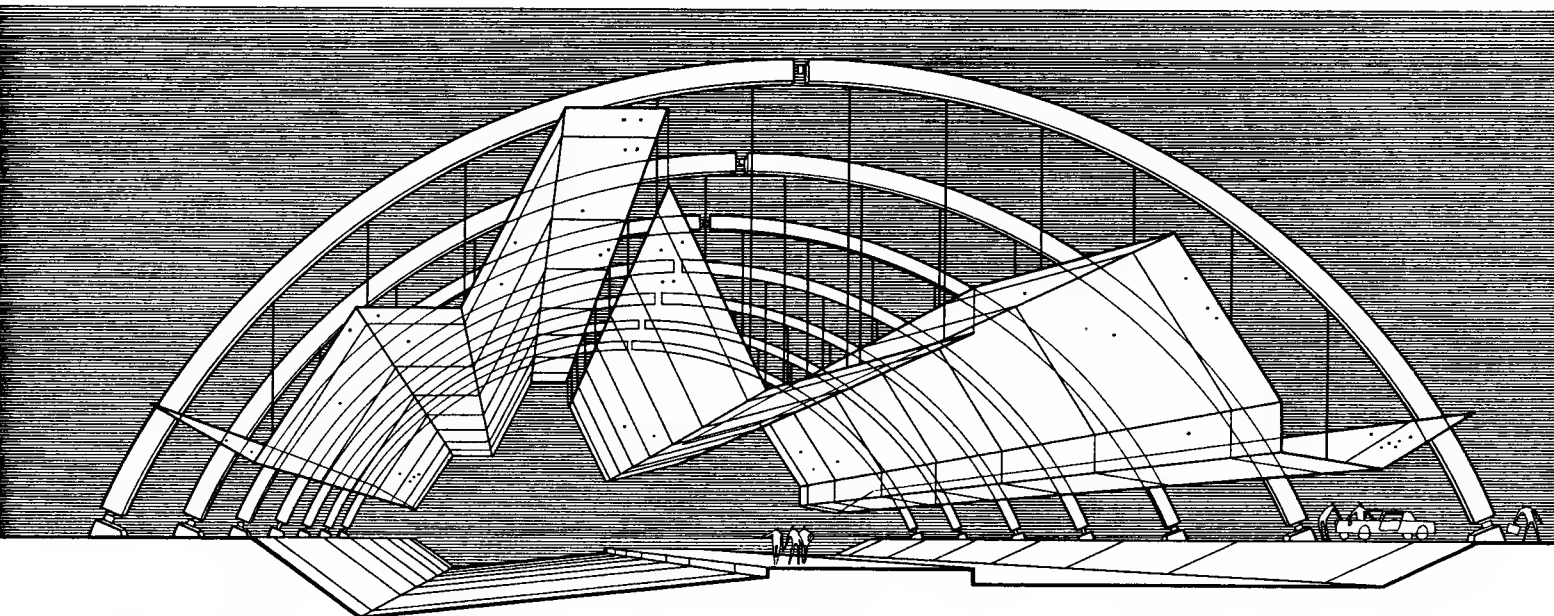
## БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ С ТРЕХШАРНИРНЫМИ АРКАМИ



арки на подкосах с опирающейся  
сводчатой конструкцией крыши

форма кривой давления: целная линия

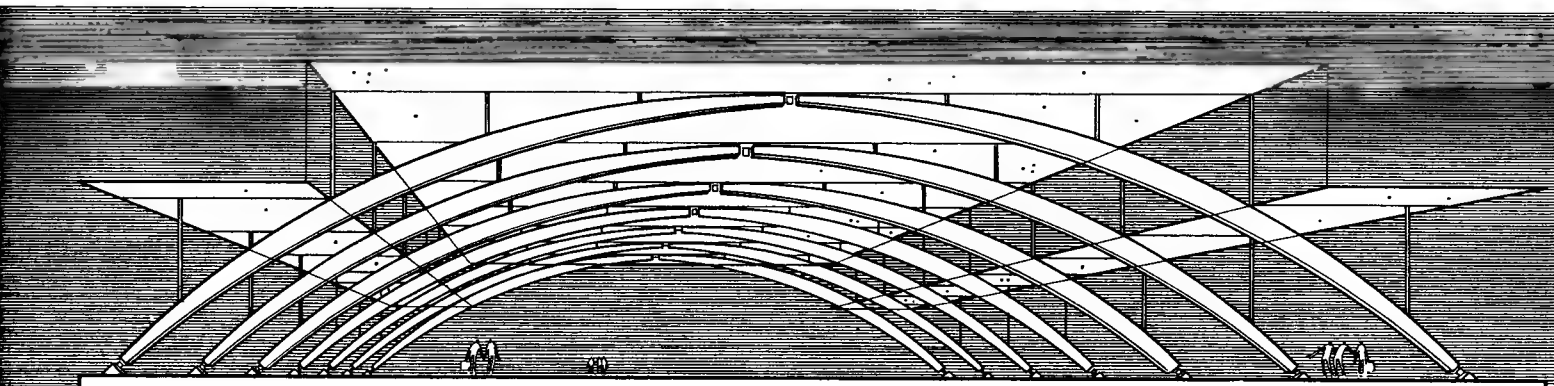
высота конструкции:  $1/7$  величины пролета



сферические заанкерванные в грунт арки  
с подвесной конструкцией крыши  
свободной формы

форма кривой давления: неправильный  
многоугольник

высота конструкции:  $1/3$  величины  
пролета



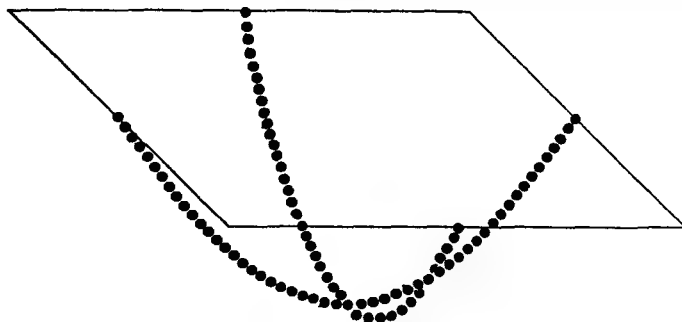
арки с анкерным креплением в грунте с опирающейся  
горизонтальной конструкцией крыши

форма кривой давления:  
параболический многоугольник

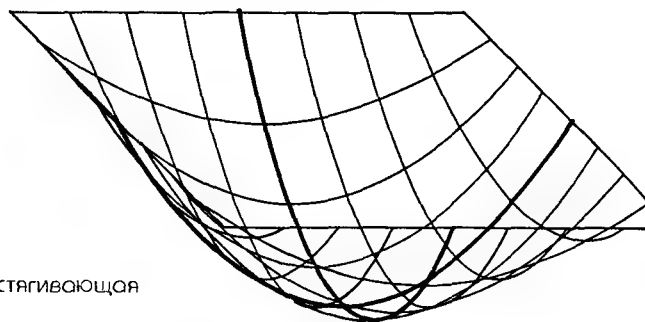
высота конструкции:  $1/5$  величины  
пролета

## ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ ОПОРНЫХ РЕШЕТОК

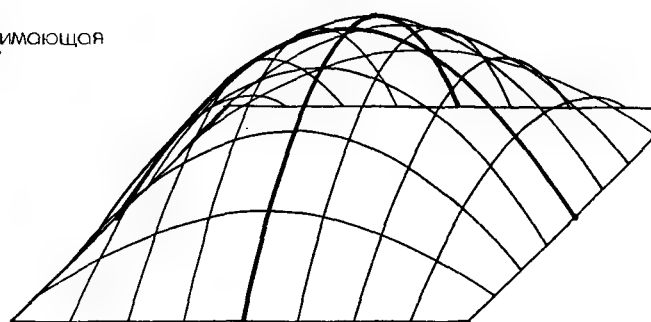
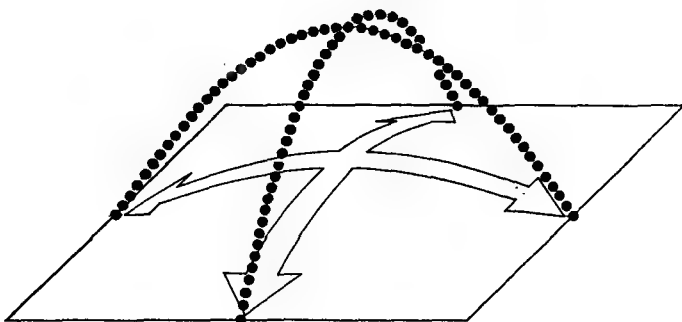
Механика удержания и форма несущей конструкции как обратная подвесная система



только растягивающая нагрузка



только сжимающая нагрузка



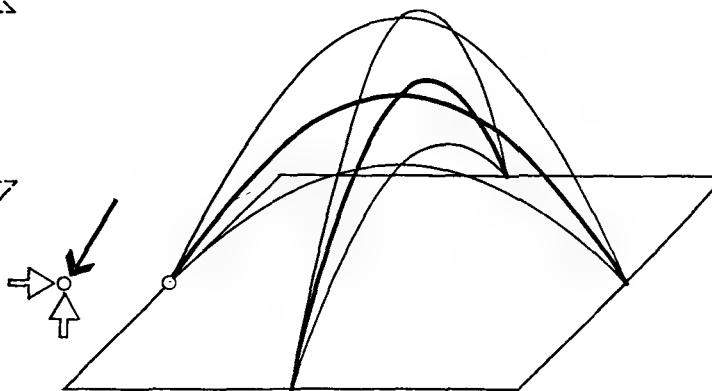
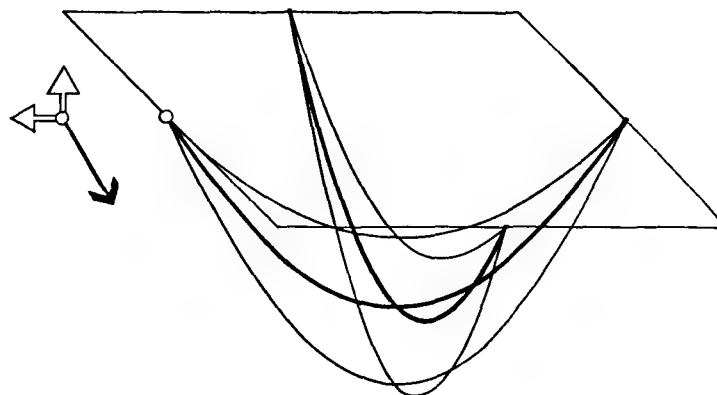
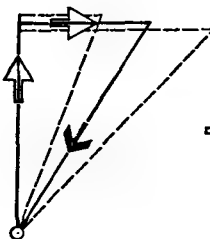
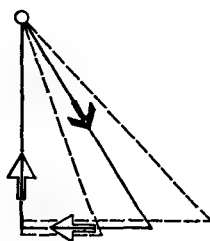
трехмерное отведение нагрузки и перетяжка пространства посредством перекрещивания двух опорных арок (соответственно несущих вант) по двум осям

образование четырехугольной ячеистой структуры с помощью параллельного расположения и взаимопересечения линий арки (соответственно линий подвешивания)

## УСИЛИЯ ОПОР В ПОДВЕСНОЙ СЕТИ И ОПОРНОЙ РЕШЕТКЕ

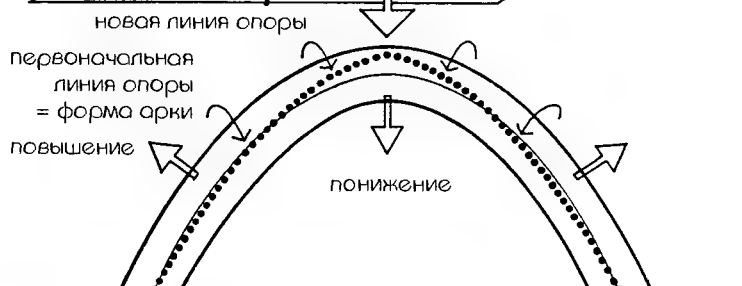
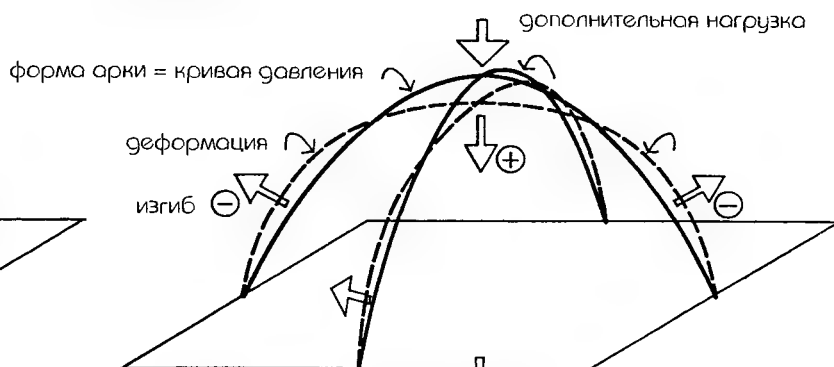
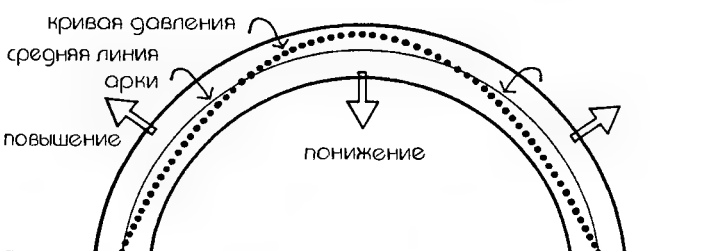
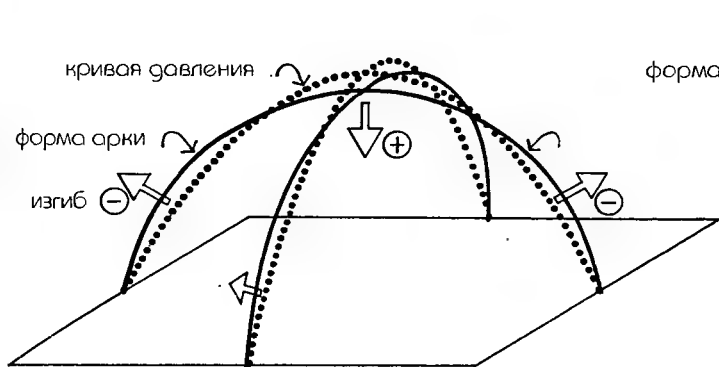
Оптимальная форма арки под тяжестью собственного веса – это опорная линия (линия сжатия). Кривая давления – обратная цепной линии (линии подвешивания).

Возникающие на опоре усилия опорной решетки соответствуют усилиям в подвесной сети. Таким образом усилия арки и горизонтальный распор обратно пропорциональны высоте конструкции.



## НАПРЯЖЕНИЕ ИЗГИБА ОПОРНОЙ РЕШЕТКИ

Отклонение от кривой давления

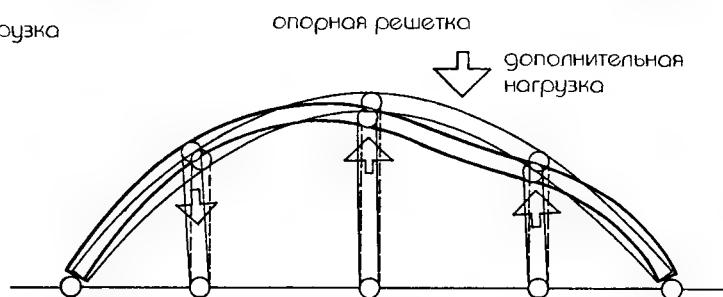
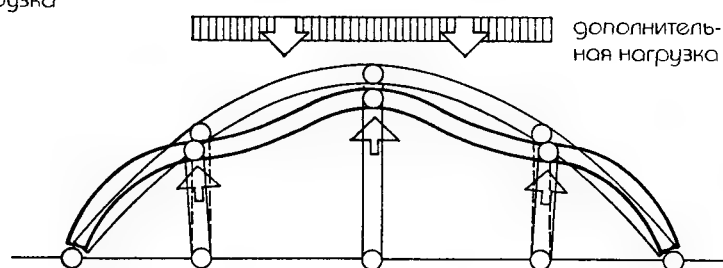
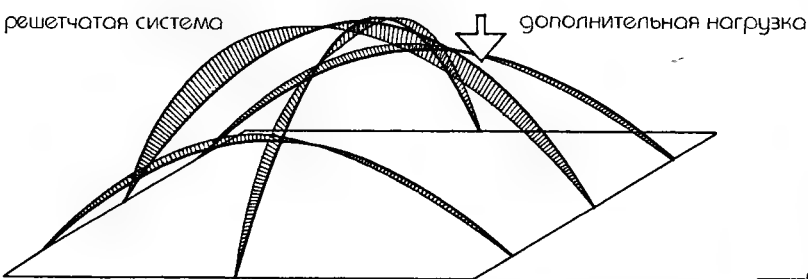
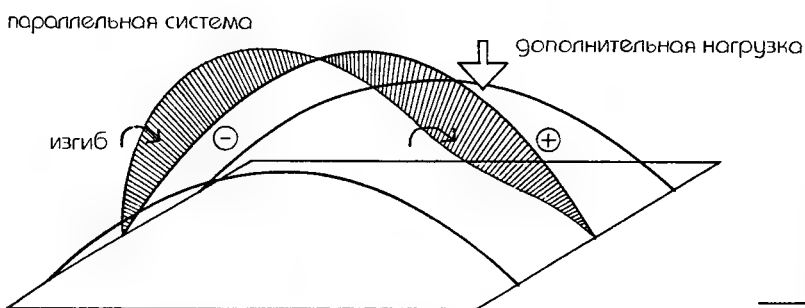


Отклонение средней линии арки от кривой давления создает силы, поперечные оси, и тем самым – напряжение изгиба поперечного сечения.

При дополнительных нагрузках кривая давления – форма арки – больше не соответствует новому состоянию нагрузки. В арке возникает изгиб.

## МЕХАНИКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ОПОРНОЙ РЕШЕТКИ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

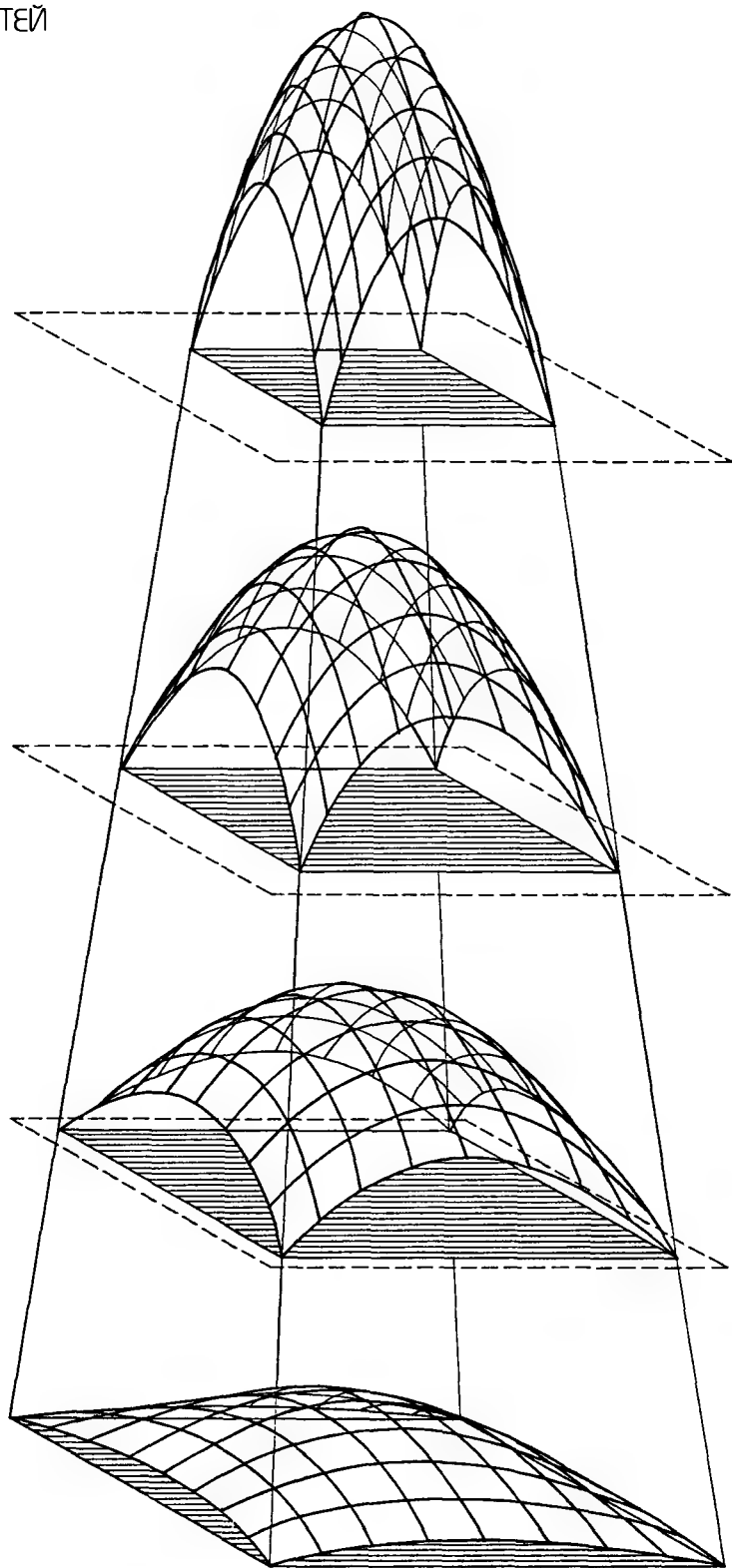
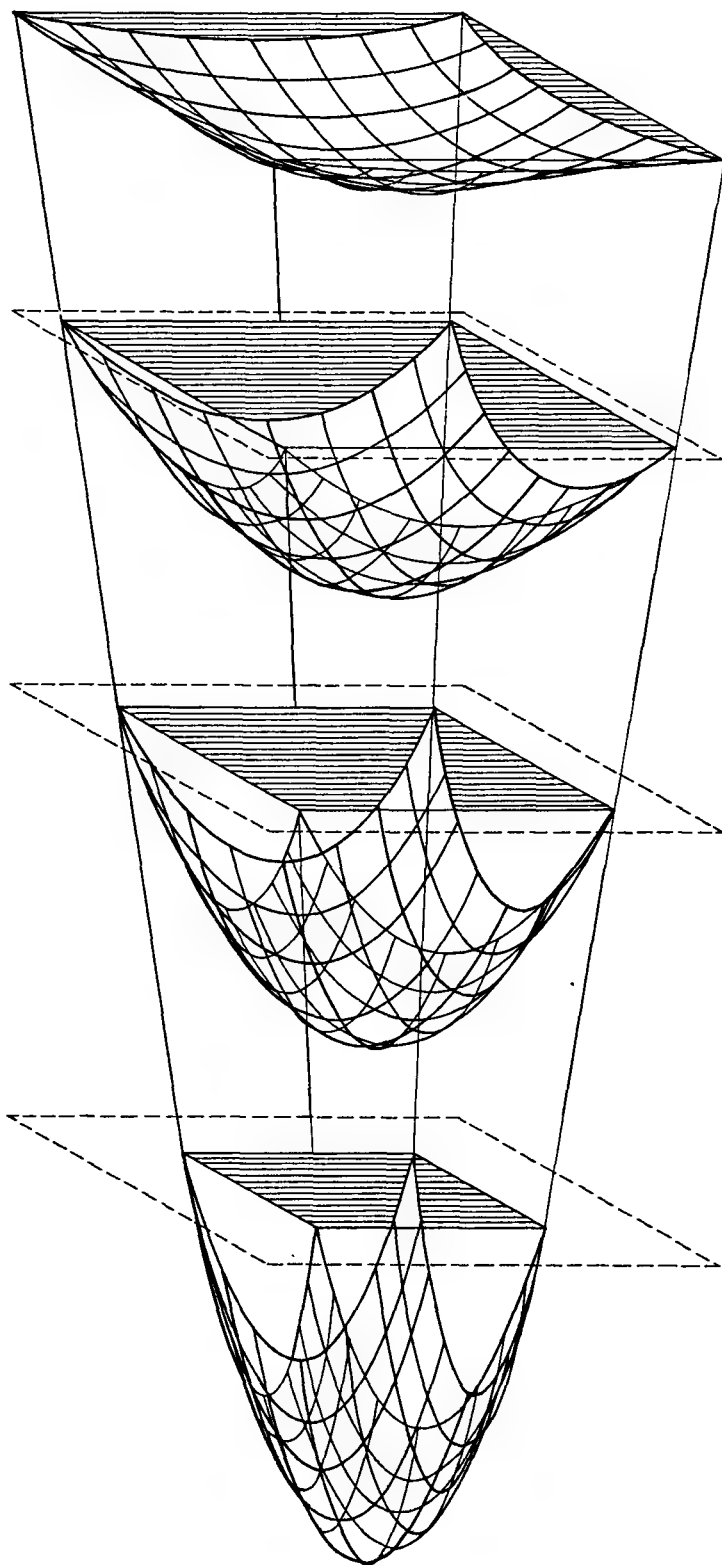
Разница между параллельной и решетчатой системами при сосредоточенном нагружении



Благодаря перекрестному проникновению с жесткими соединениями ненагруженные опорные арки принимают участие в механике сопротивления деформации.

Механика сопротивления складывается из изгиба оси арки, скручивания поперечного сечения арки, сдвига угла переплетения.

## РАЗВИТИЕ ФОРМ ВИСЯЧИХ И ОПОРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

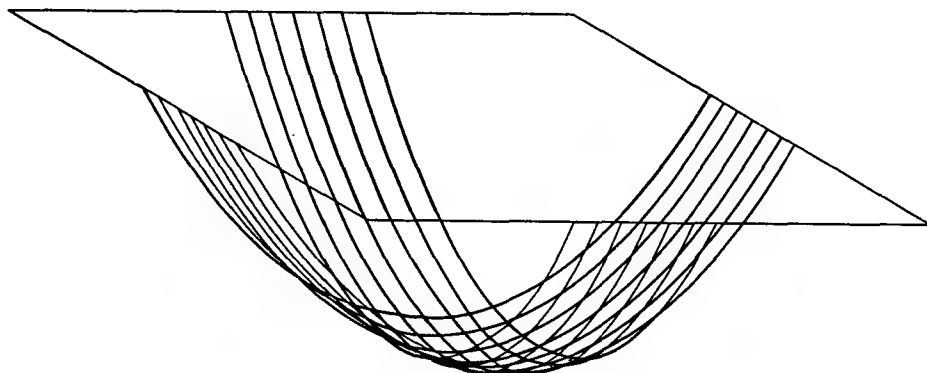


С помощью решетки плоской квадратной формы сечения (в оригинальной структуре) с ячейками одинаковой величины посредством изменения формы ячеек до ромбической можно получить опорную поверхность с различными по высоте конструкциями, аналогично подвесной сети.

## ОПОРНЫЕ РЕШЕТКИ = ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРИЗНАКИ

## Определение

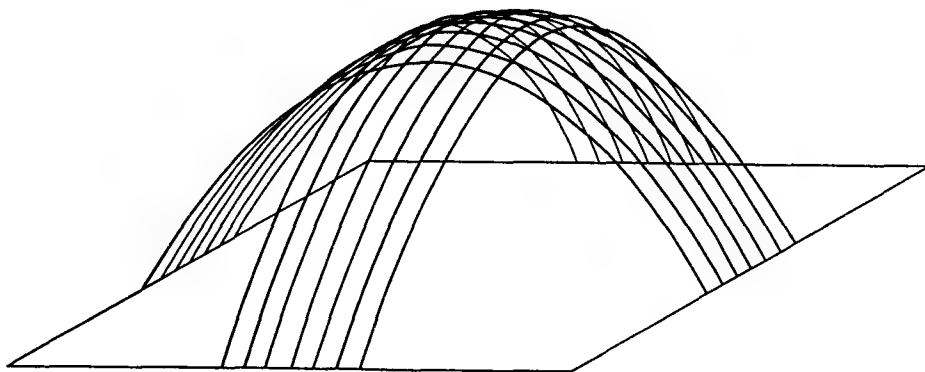
Опорная решетка — это изогнутая в пространстве поверхностная несущая конструкция с ячейками со сквозными линейными элементами, в которой нагрузки отводятся с помощью опорного механизма по двум осям.



## Признаки

## Две группы кривых опорных дуг

Несущая система образуется из двух групп кривых взаимопроникающих линий опорных дуг. Линейные элементы должны быть, как и у независимой опорной арки, прочными на изгиб по отношению к вторичным нагрузкам.

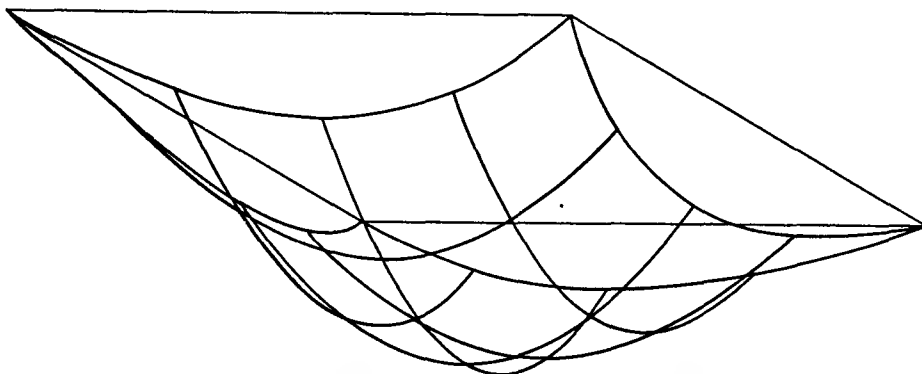


## Одинаковая величина ячеек

Пересечение линий дуг должно происходить так, чтобы появились отверстия с одинаковой длиной стороны (одинаковым расстоянием между точками пересечения для всех линий дуги).

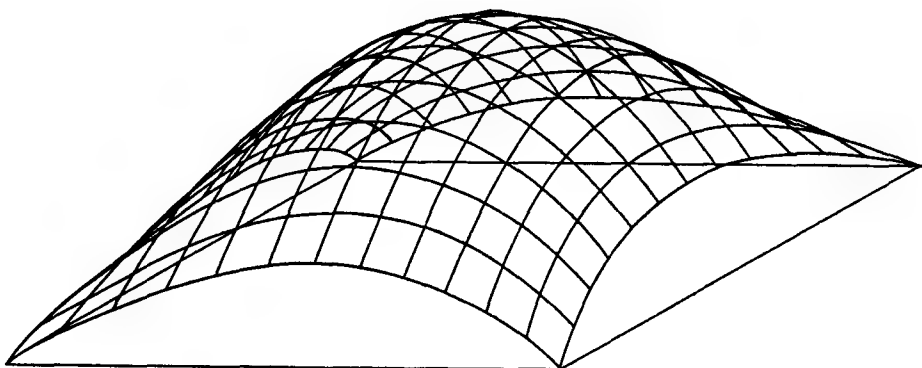
## Различный угол ячеек зафиксирован

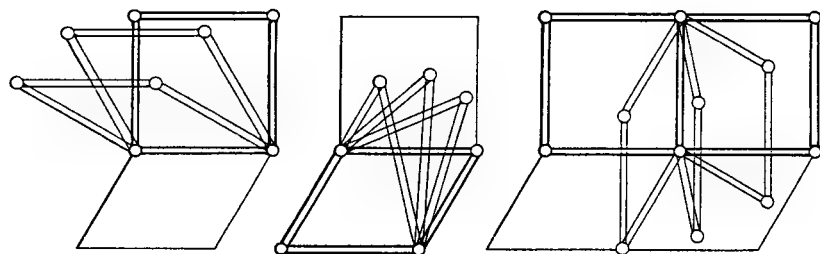
Общая форма несущей системы определяется кроме кривых дуги еще и отдельными углами ячеек. Поэтому для получения структурной формы нужно обеспечить фиксацию угла ячейки.



## Перевернутая форма

Оптимальная форма опорной решетки может быть получена эмпирически с помощью переворачивания соответствующей подвесной системы с одинаковыми ячейками сети.

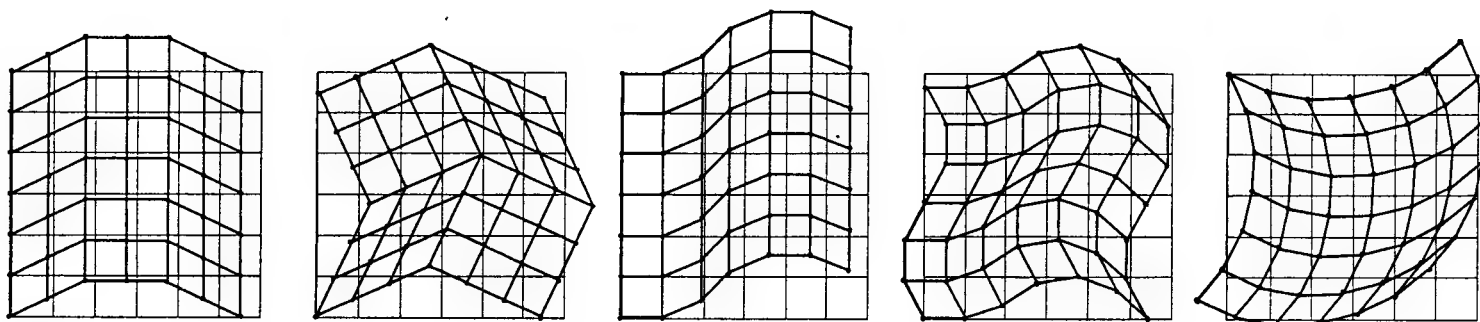




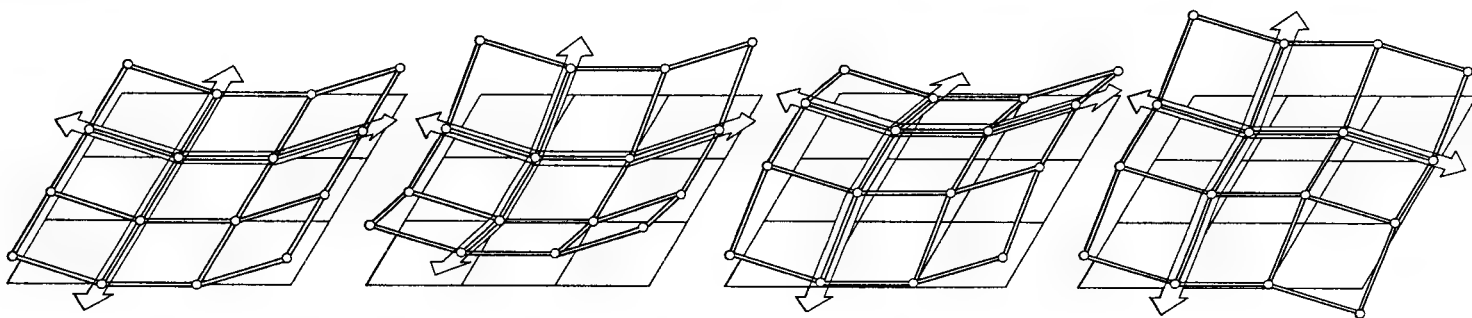
Регулирование формы с помощью угла ячейки

## ГЕОМЕТРИЯ РЕШЕТКИ С ОДИНАКОВЫМИ ЯЧЕЙКАМИ

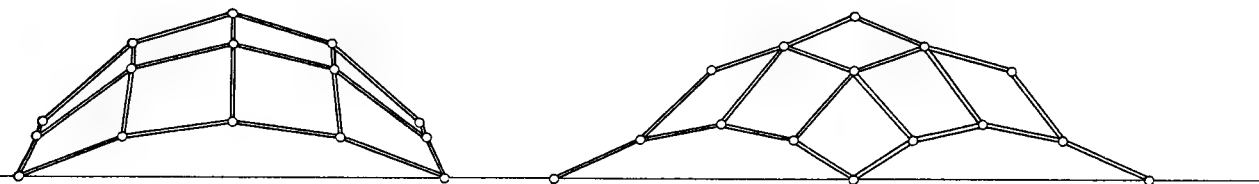
Равносторонняя ячейка решетки является основным элементом геометрии опорной решетки. Теоретически гибкие узлы соединения ячеек дают возможность придавать поверхности решетки различную форму.



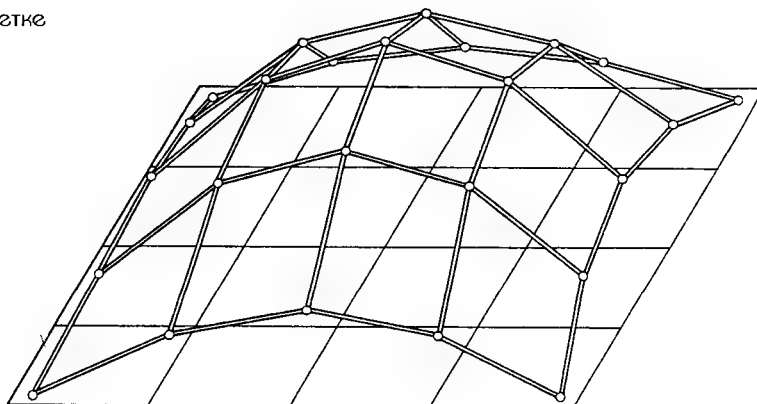
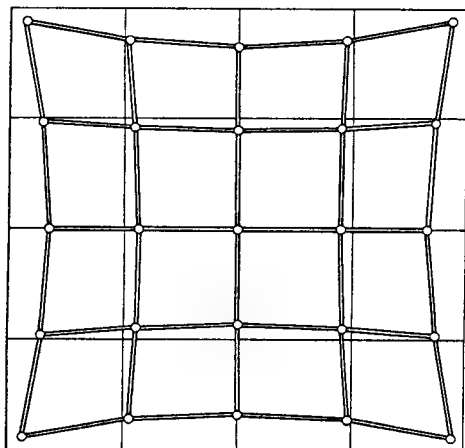
Гибкость структуры с одинаковыми ячейками в плоской решетке



Пространственная гибкость структуры решетки с одинаковыми ячейками



Смещение узловых точек ячеек  
в квадратной решетке

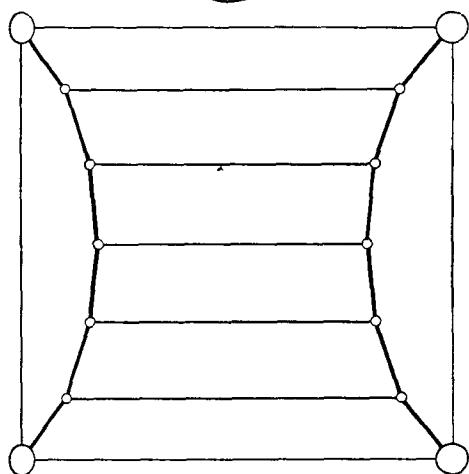
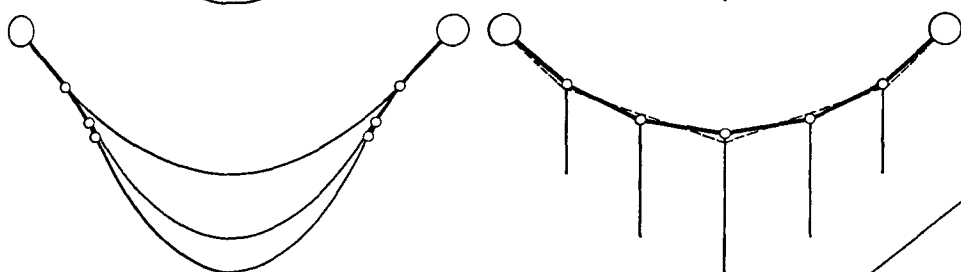
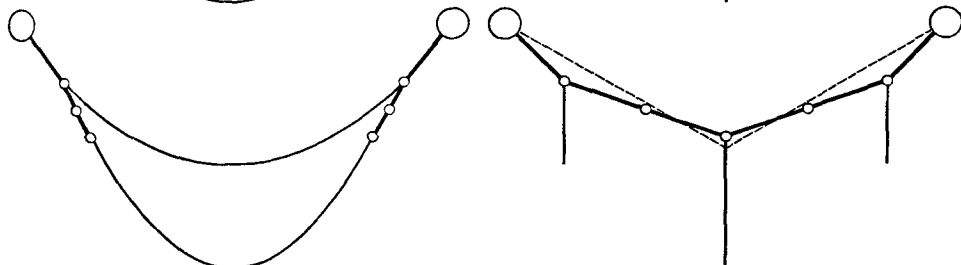
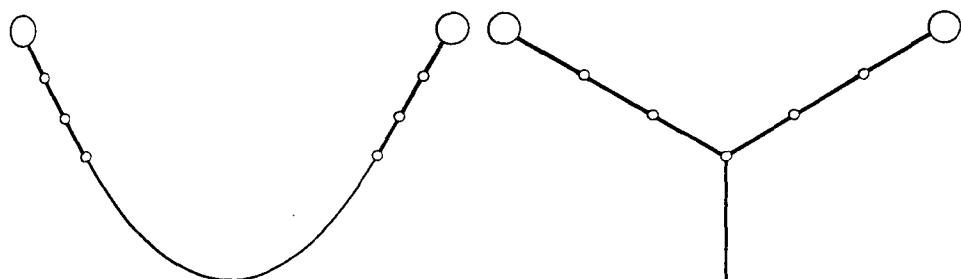


## ДВОЙНАЯ КРИВИЗНА КРАЙНЕЙ ДУГИ В ОПОРНОЙ РЕШЕТКЕ: ОТВЕДЕНИЕ ОТ ПОДВЕСНОЙ СЕТКИ

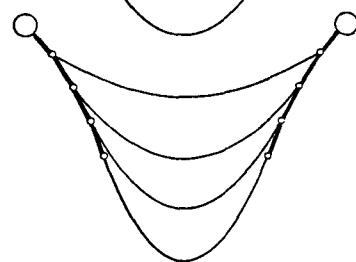
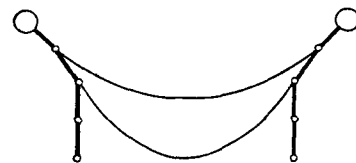
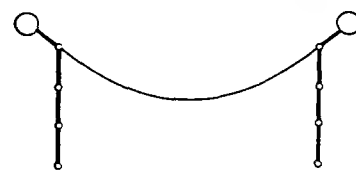
Две расположенные напротив друг друга, просто подвешенные краевые ванты благодаря подвешенной к ним несущей ванте, в направлении действующих усилий ванты

В соответствии с убавлением угла действия возникает изгиб в плоскости несущей ванты

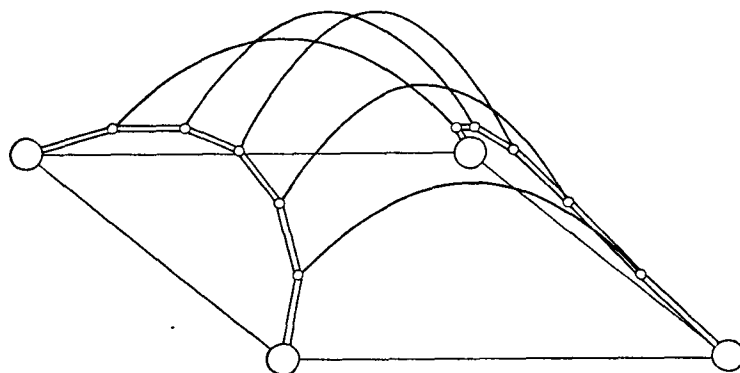
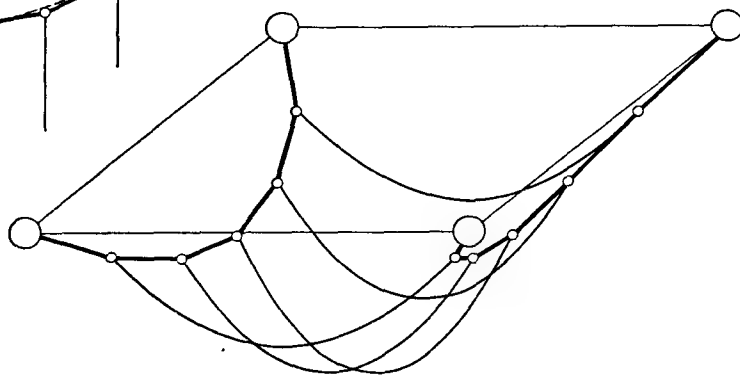
Аналогично изгибается крайняя ванто, подвешенная с двух сторон дополнительно в проекции несущей ванты



Закономерность образования крайних вант в подвешенной сети справедливо в обратном смысле и по отношению к формированию крайних дуг в опорной решетке.

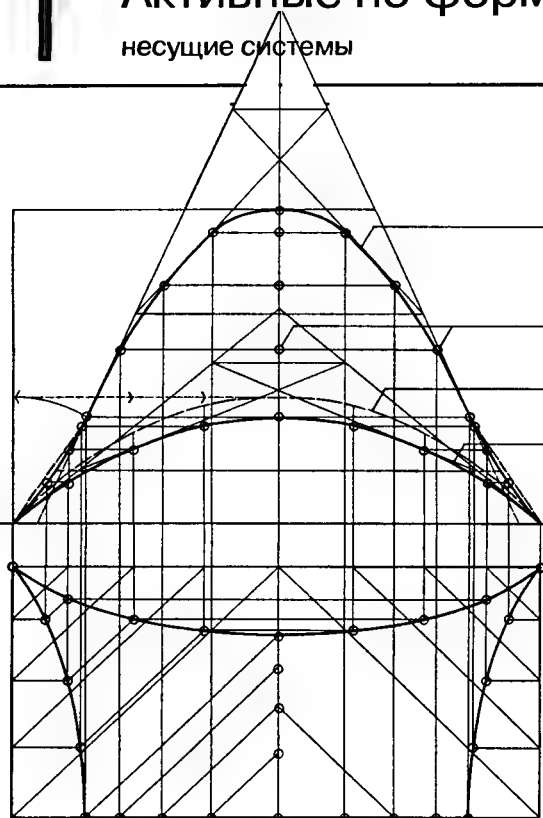


Изгиб обеих крайних вант вследствие подвешивания отдельных несущих вант



несущие системы

Арочные несущие конструкции: опорные решетки

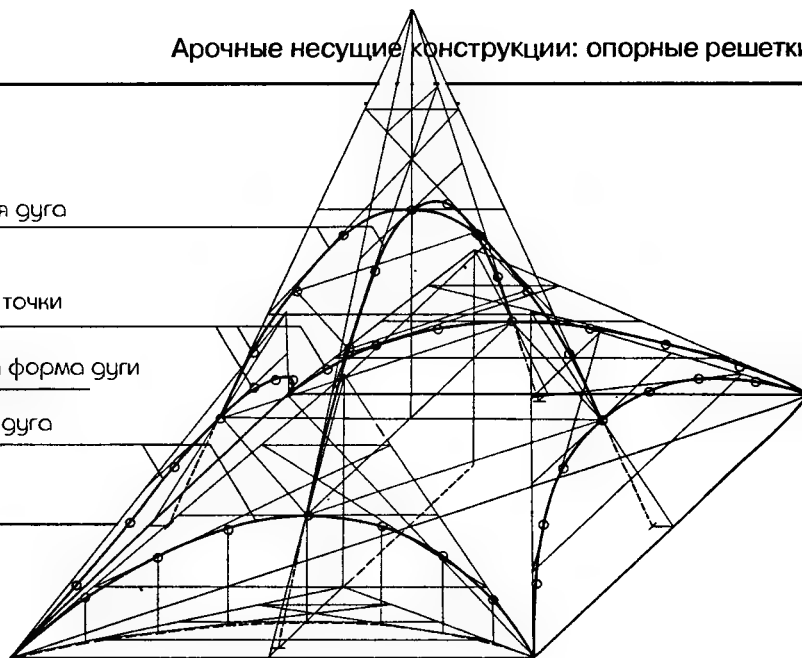


основная дуга

узловые точки

истинная форма дуги

крайняя дуга



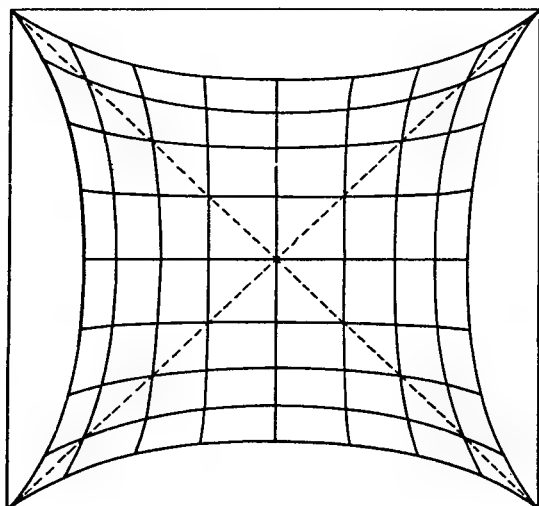
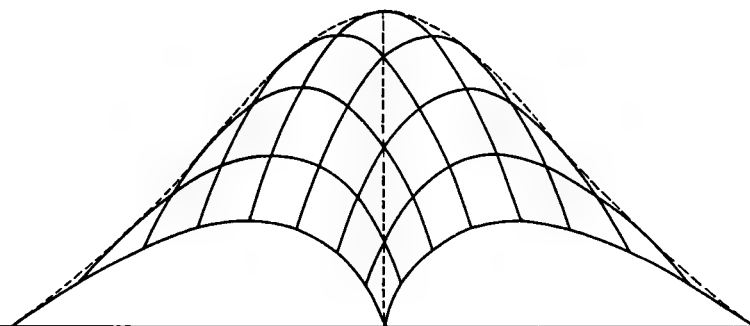
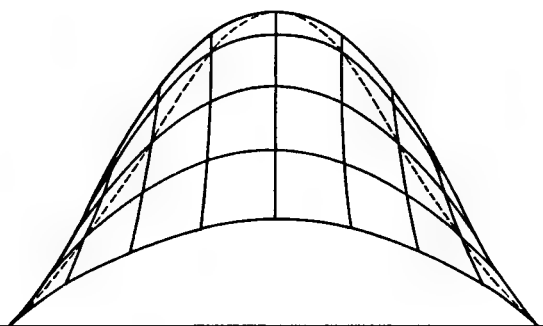
ПРИБЛИЗИТЕЛЬНОЕ НАХОЖДЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ  
ДЛЯ ОПОРНОЙ РЕШЕТКИ С ОДИНАКОВЫМИ ЯЧЕЙКАМИ

Все дуги имеют одинаковую длину шага. Форма опорной линии конструируется с целью упрощения в виде параболы.

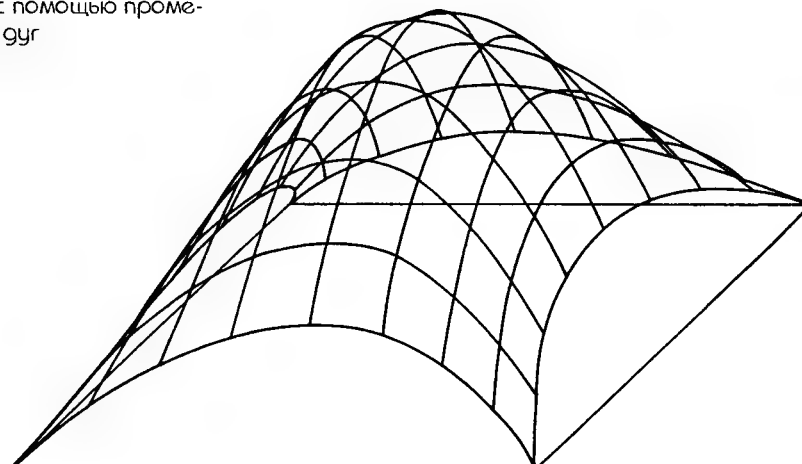
С выбором обеих вертикально перекрещивающихся главных дуг устанавливается основной вид несущей

щей конструкции, длина шага дуги и деление на ячейки.

Крайевые дуги лежат в одной плоскости, наклон которой больше, чем конечная касательная основной дуги.



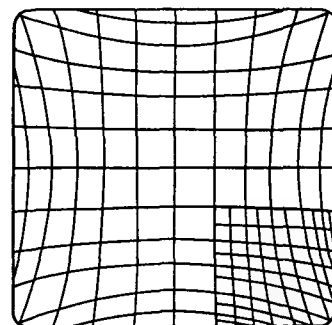
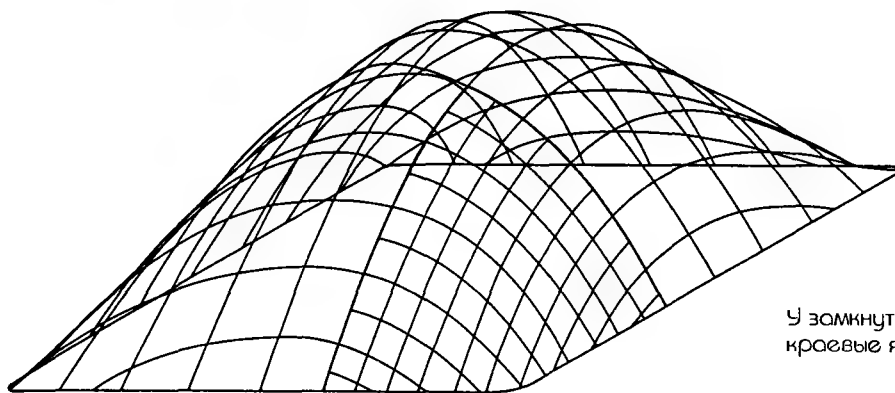
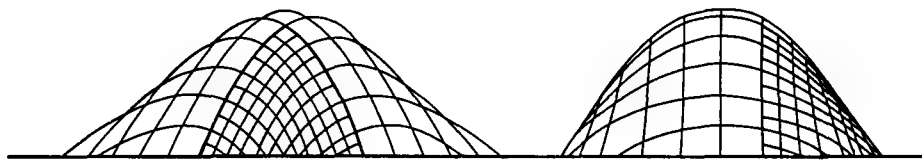
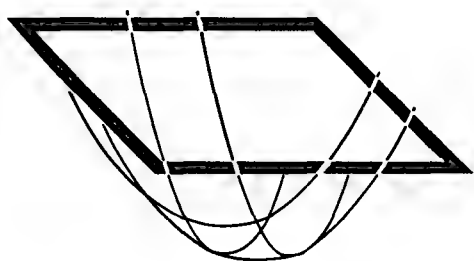
Заполнение ячеек плетеной решетки с помощью промежуточных дуг





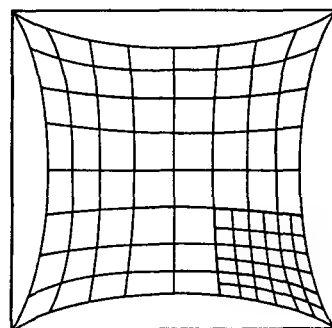
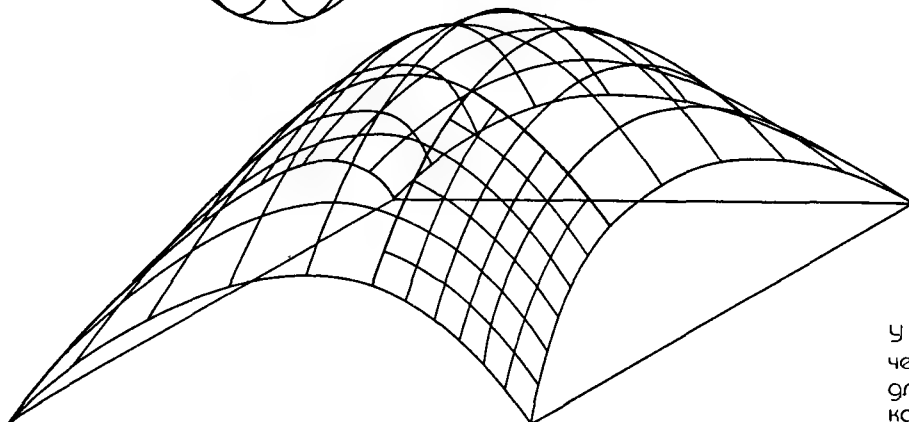
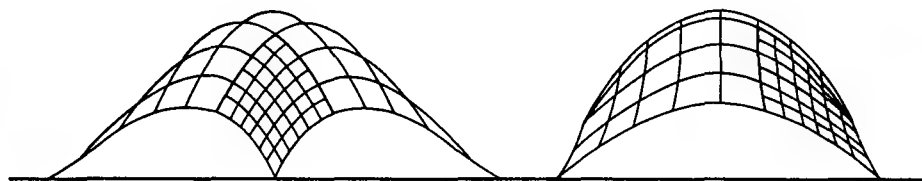
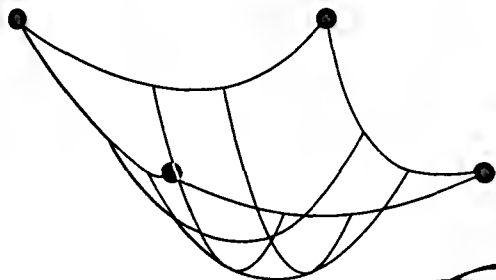
## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРАЕВ ОПОРНОЙ РЕШЕТКИ

Замкнутое плоское краевое сечение



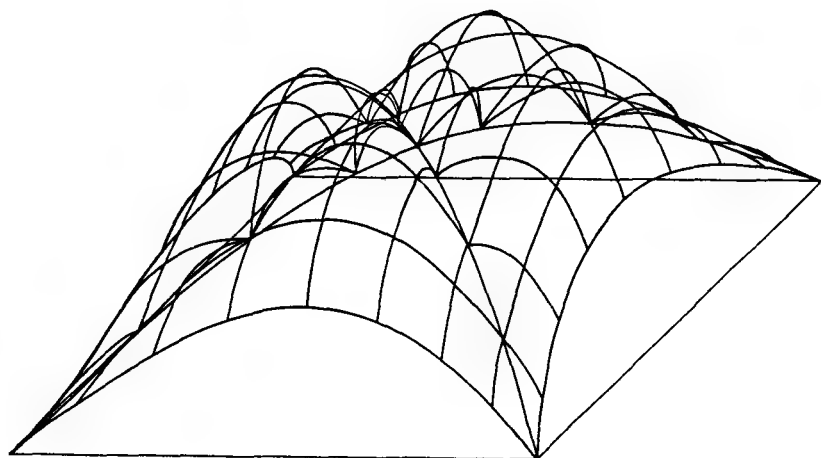
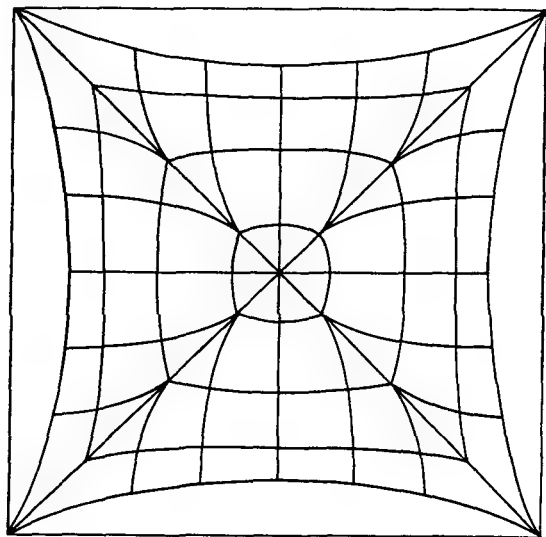
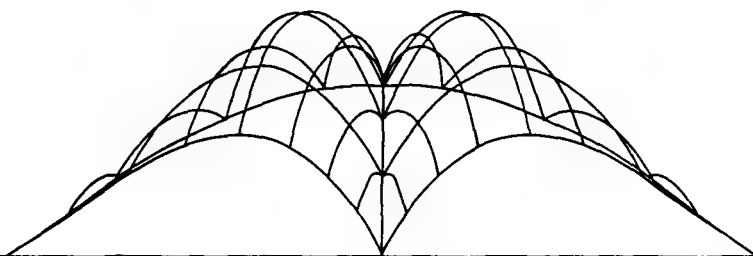
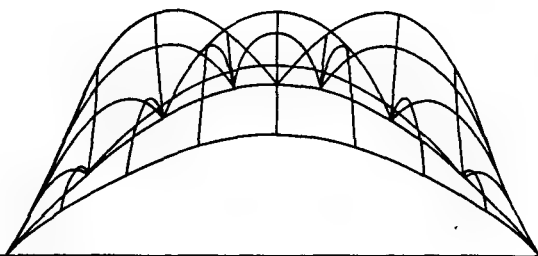
У замкнутого края с прямой стороной намечаются краевые ячейки.

Открытый край дуги с ячейками

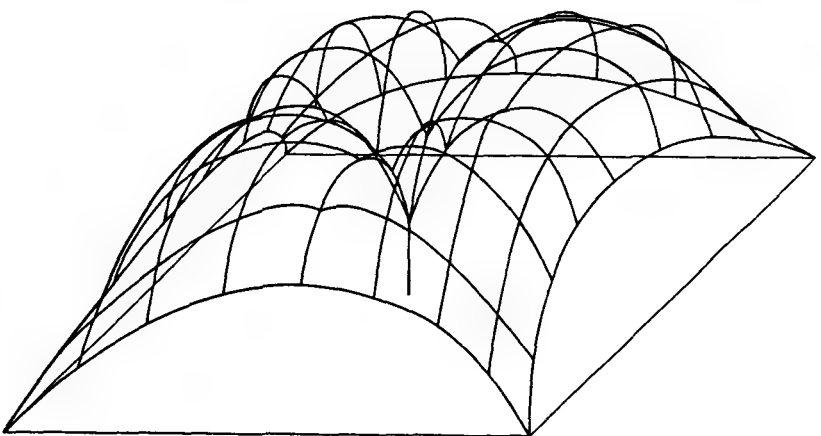
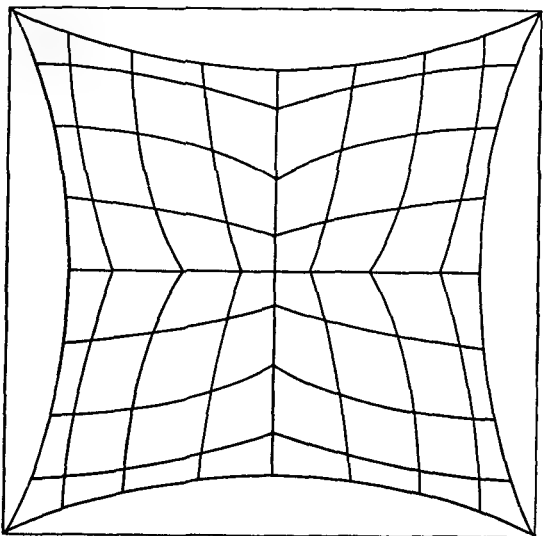
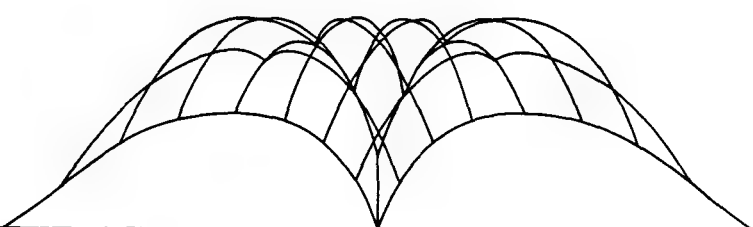
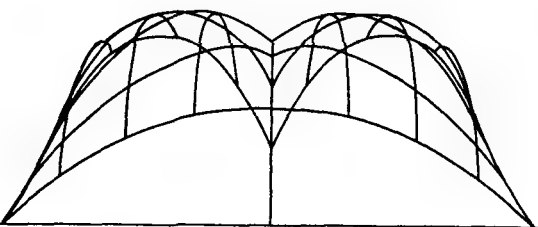


У открытого края дуга с ячейками придает законченность конструкции. Она наклонена вовнутрь для восприятия сдвига решетки и нагружается только на сжатие.

## ГЕОМЕТРИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕННОМ ОТВЕДЕНИИ НАГРУЗКИ

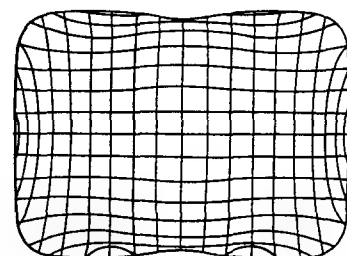
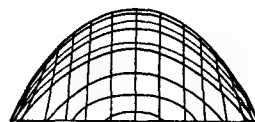
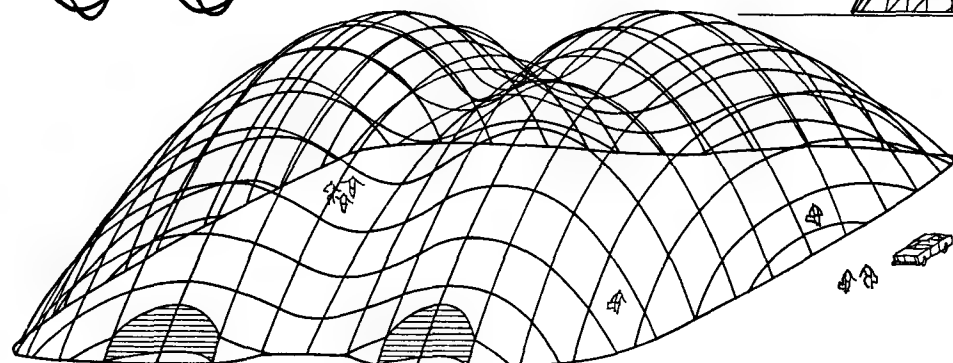
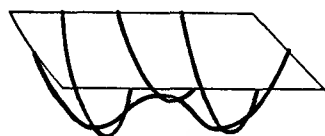


Дополнительное отведение нагрузки через диагональные дуги

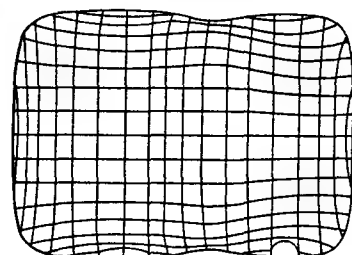
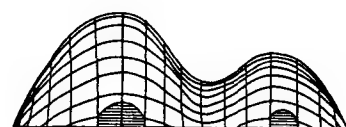
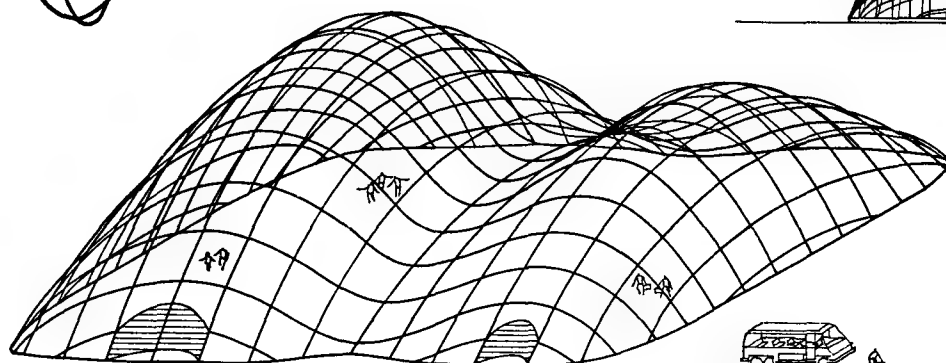
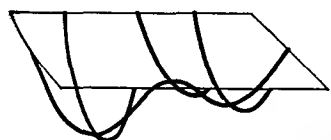


Дополнительное отведение нагрузки через центральную опору

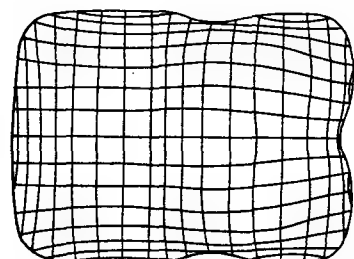
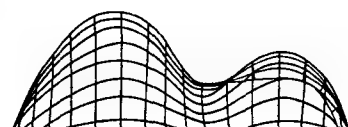
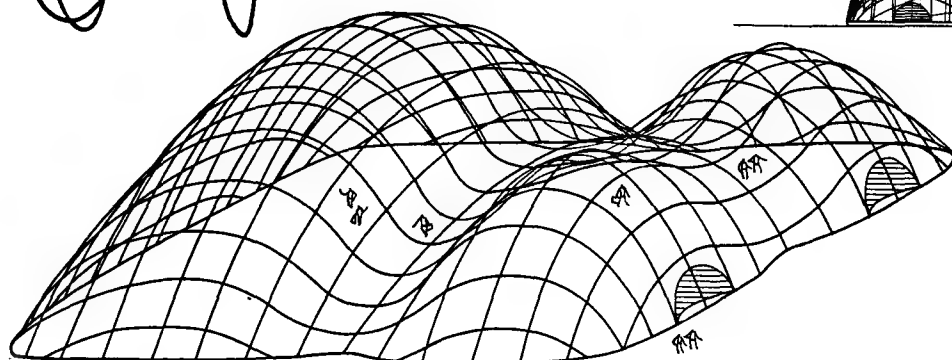
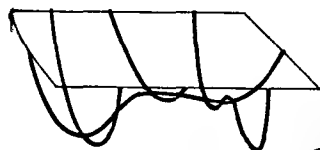
## СИСТЕМА ОПОРНЫХ РЕШЕТОК С ПЛОСКИМ ЗАМЫКАНИЕМ КРАЕВОГО СРЕЗА



Вдавливание опорной поверхности посередине

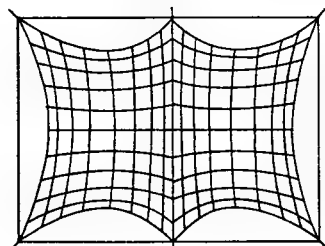
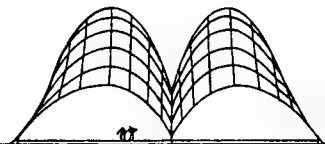
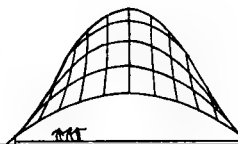
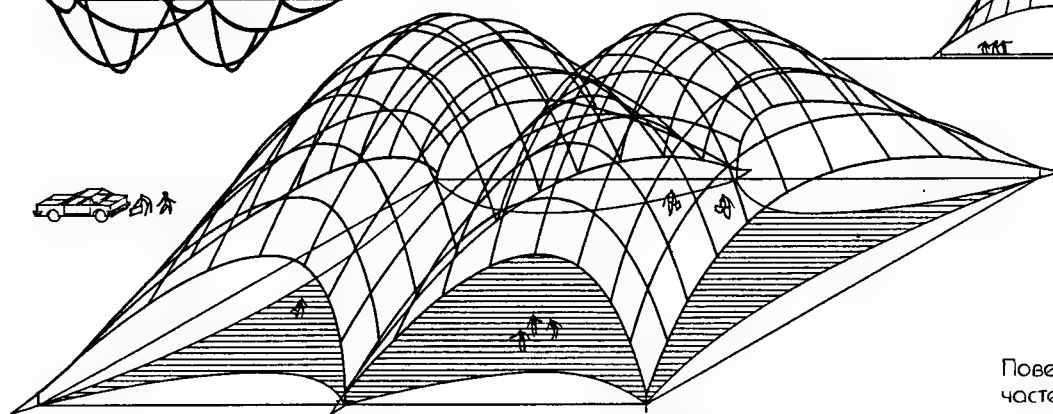
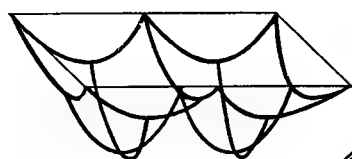


Вдавливание опорной поверхности вне центра

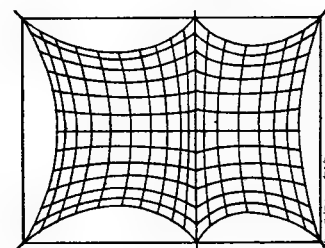
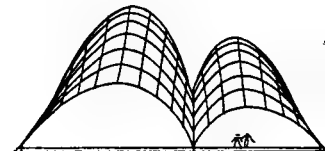
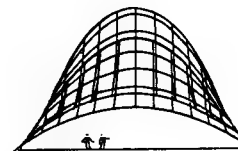
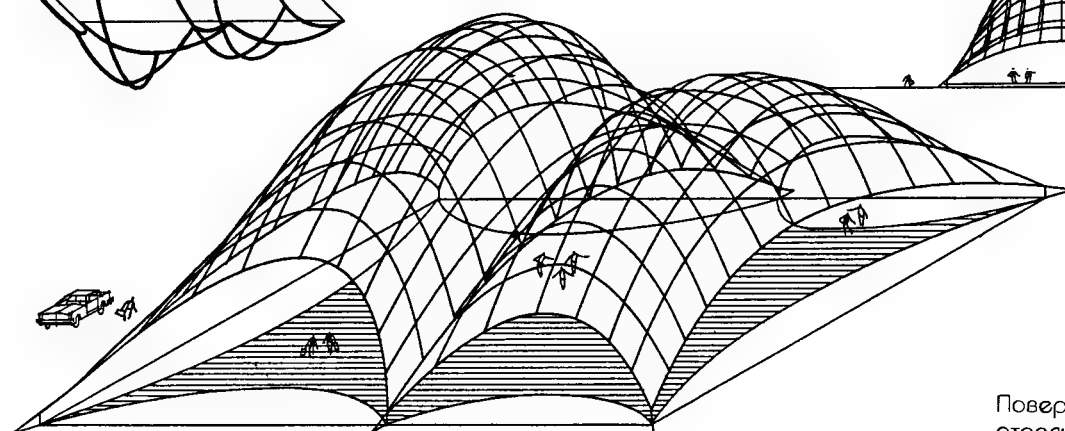
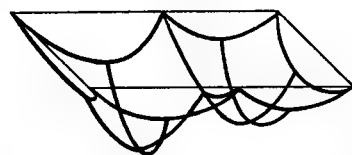


Т-образное вдавливание опорной поверхности

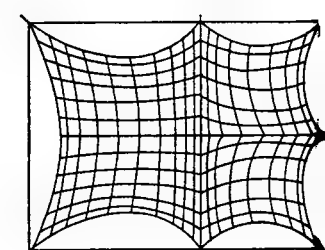
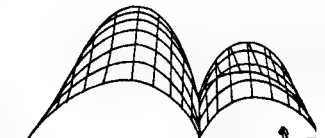
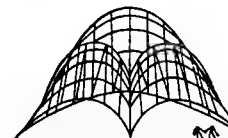
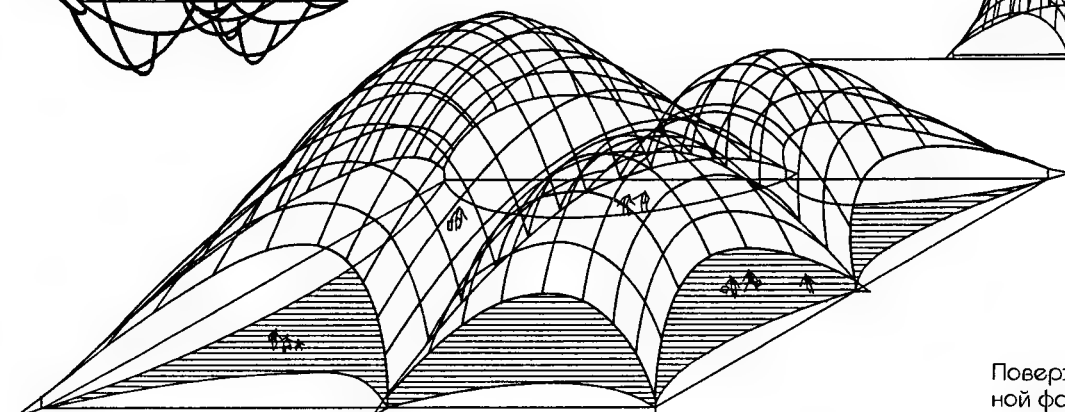
# СИСТЕМЫ ОПОРНЫХ РЕШЕТОК С АРКАМИ В КАЧЕСТВЕ КРАЕВОГО ЗАВЕРШЕНИЯ НИЖНЕЙ ЧАСТИ РЕШЕТКИ



Поверхность, состоящая из двух симметричных частей

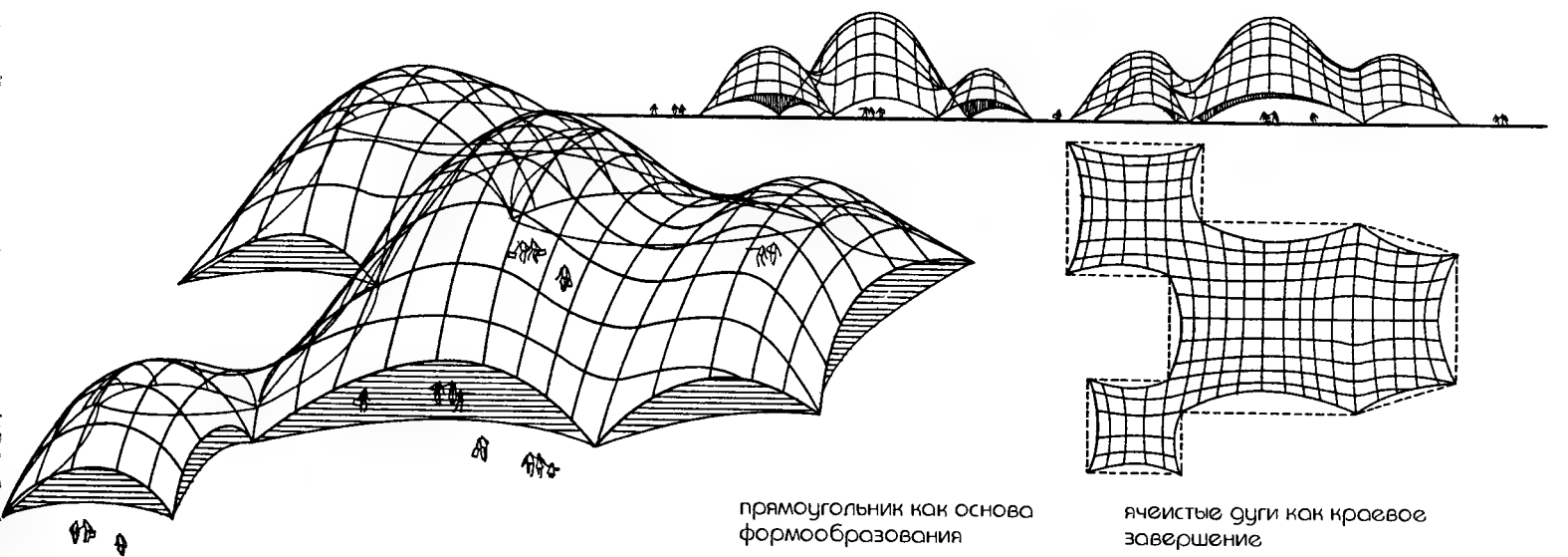
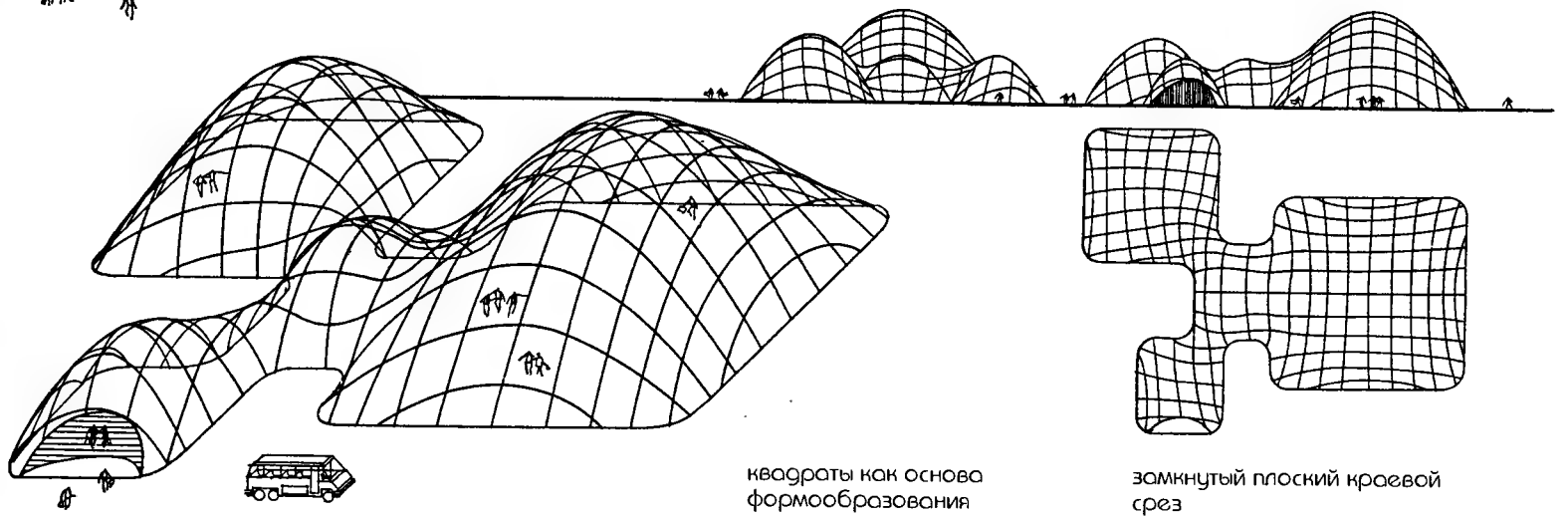
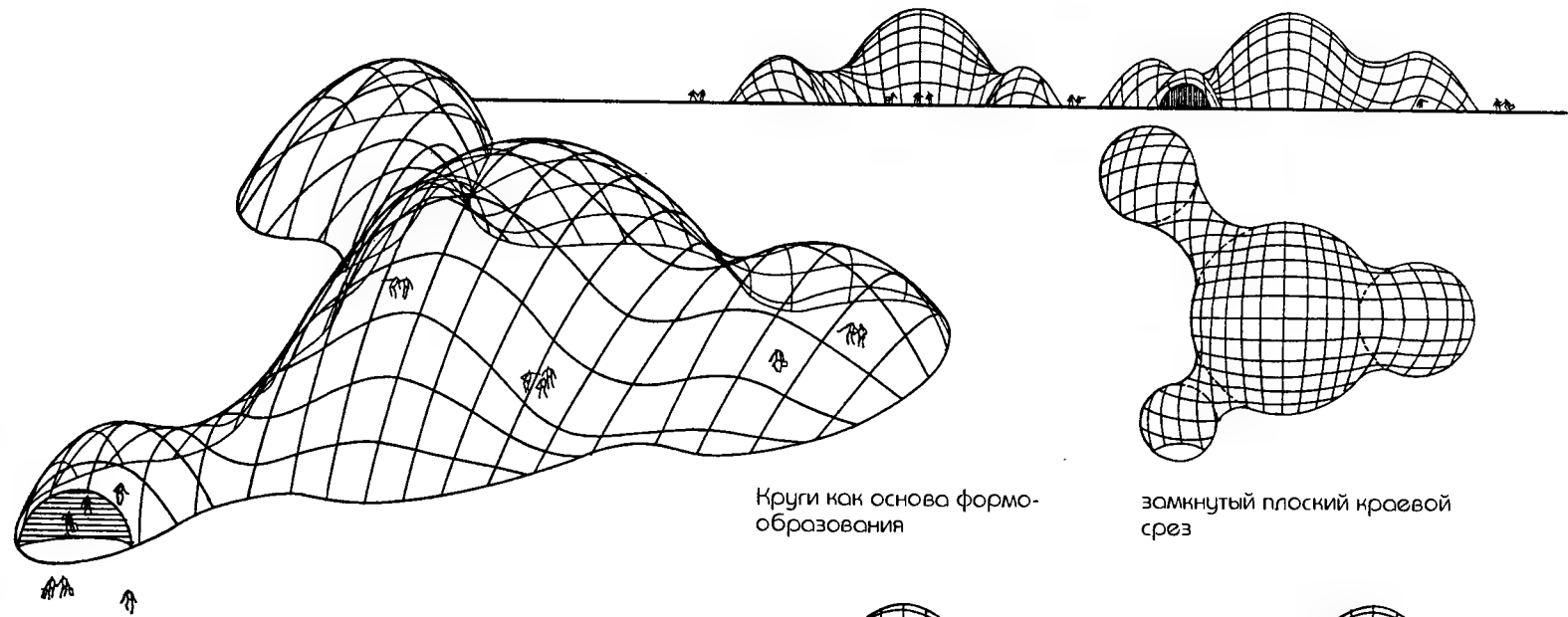


Поверхность, состоящая из двух неодинаковых отдельных частей



Поверхность, состоящая из трех частей Т-образной формы

## СИСТЕМЫ ОПОРНЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПЛАНА НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ



## **АКТИВНЫЕ ПО ВЕКТОРУ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

**2**

Короткие, прочные, прямолинейные элементы, т. е. стержни, являются конструктивными элементами, которые из-за своего малого поперечного сечения по отношению к длине могут выдерживать только силы в направлении стержня, т. е. нормальные силы (растяжение и/или сжатие): сжатые и растянутые стержни.

Сжатые и растянутые стержни в треугольном соединении образуют стабильную, замкнутую в себе структуру, которая у соответствующей несущей конструкции отводит различные, в том числе асимметричные, нагрузки на внешние конечные точки.

Сжатые и растянутые стержни, расположенные определенным образом и объединенные в систему шарнирными узловыми точками, образуют механизмы, которые могут распределять силы и отводить нагрузки через пространства с большими пролетами без опор: несущие системы, активные по вектору (вектор – линия, которая показывает величину и отражает направление силы).

Отличительным признаком векторно-активной несущей системы является треугольное соединение.

Векторно-активные системы способны изменению направления сил, передавая в разном направлении внешние силы, действуя с помощью двух или нескольких стержней и сохраняя при этом равновесие.

Установка стержней в направлении, противоположном направлению приложения внешних сил в векторно-активной системе, определяет величину векторных усилий в стержнях. Благоприятным является угол  $45^\circ$ – $60^\circ$  по отношению к направлению сил; он способствует ответственному перераспределению сил меньшими векторными усилиями.

Векторно-активные несущие системы – это стержневые структуры, принцип действия которых основан на многочленном взаимодействии отдельных растягивающих и сжимающих элементов.

Знание того, как с помощью распределения векторов могут перераспределяться силы и как сами векторные усилия могут контролироваться по величине, являются обязательной предпосылкой для разработки идеи несущей конструкции на векторно-активной основе.

Так как разложение и объединение сил является основой ядра физико-механических преобразований и потому сущностью проектирования каждого несущего механизма, основы векторно-активных механизмов касаются не только каркасных систем, но и каждого формообразования, которое ставит своей задачей передать силы, чтобы создать свободное пространство.

Распределение сил с помощью векторного механизма должно происходить не только в одной плоскости, а введение сил – не только по одной оси. Разложение сил может

происходить как в изогнутой плоскости, так и в трехмерном пространстве.

С помощью расположения стержней в просто изогнутой плоскости или в плоскости с двойным изгибом интегрируется преимущество векторно-активного распределения сил, и вследствие этого создается взаимодействующий несущий механизм и механизм сопротивления: изогнутые каркасные системы.

Благодаря двусосному расположению стержневых систем в треугольном соединении возникает плоская пространственная система.

Знание пространственной геометрии, систематики разнообразных поверхностей и закономерностей сферической тригонометрии является предпосылкой для использования разнообразных возможностей формообразующих пространственных каркасов.

Векторно-активный механизм распределения может использоваться в других несущих системах, особенно если они из-за собственного огромного веса достигли предела своего использования. Опорные арки, рамы или оболочки могут образовываться по принципу каркасных систем.

Векторно-активные несущие системы с точки зрения их распределения сил могут сравниваться с теми компактными несущими конструкциями, которым они соответствуют внешне: в опертой с двух сторон

ферме с параллельными поясами стержневые усилия с точки зрения направления и соотношения величин подобны внутренним усилиям балки на двух опорах.

Из-за высокой эффективности противодействия изменяющимся условиям нагрузки и из-за строения, состоящего из прямолинейных мелкомасштабных элементов, векторактивные структуры подходят преимущественно в качестве вертикальных несущих систем в высотных домах.

Векторактивные системы имеют большое преимущество в качестве вертикальных несущих систем для высотных домов. В подходящем сочетании они могут комбинировать статические функции линейного соединения нагрузок, прямого отведения нагрузки и боковых ветровых связей.

Благодаря своим неограниченным возможностям (с помощью стан-

дартных элементов при очень значительном ограничении пространства распространяться в трех измерениях) векторактивные несущие системы являются предпочтительной несущей формой динамичного города будущего.

Векторактивные несущие системы являются предпосылкой для широкого проникновения градостроительства в третье измерение – в высоту. Только благодаря векторактивным пространственным несущим конструкциям может произойти техническое освоение трехмерного пространства в урбанистическом масштабе.

Итак, знание векторактивных несущих систем является научной основой не только для проектировщика высотных строений, но и для планировщика будущих трехмерных городских структур.

Векторактивные несущие системы в их каркасной прозрачности являются

убедительным способом выражения духа открытий в области манипулирования силами и овладения силой тяжести.

Из-за чисто инженерного подхода к каркасным конструкциям эстетический потенциал векторактивных систем и по сей день остается неиспользованным. Их применение в высотном строительстве до сих пор характеризуется высокими мощностными возможностями, с одной стороны, и пренебрежением формообразующими возможностями – с другой.

С разработкой четких, акцентированных точек пересечения и простых изящных поперечных сечений стволы в будущем следует ожидать освоения треугольных соединений и каркасной системы. Они будут играть ту формоопределяющую роль, которая им полагается благодаря их формообразующему потенциалу и мощности.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Несущие системы, АКТИВНЫЕ ПО ВЕКТОРУ, – это несущие системы из жестких, прямых, линейных элементов (стержней), в которых распределение сил осуществляется с помощью ВЕКТОРНОГО ДЕЛЕНИЯ, т. е. с помощью МНОГОЧЛЕННОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СИЛ.

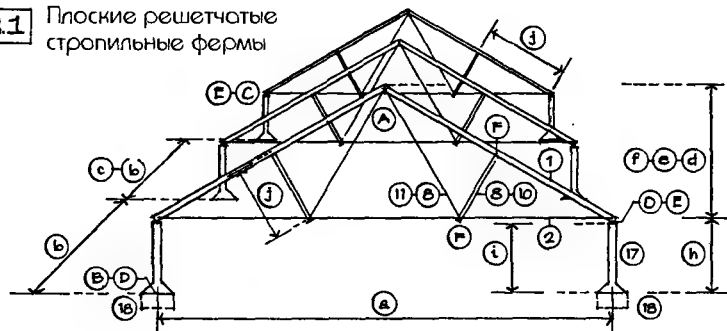
## Силы

Элементы системы (пояса, стержни) нагружаются при этом, с одной стороны, на сжатие, с другой – на растяжение: системы в ОБЩЕМ СОСТОЯНИИ СЖАТИЕ – РАСТЯЖЕНИЕ.

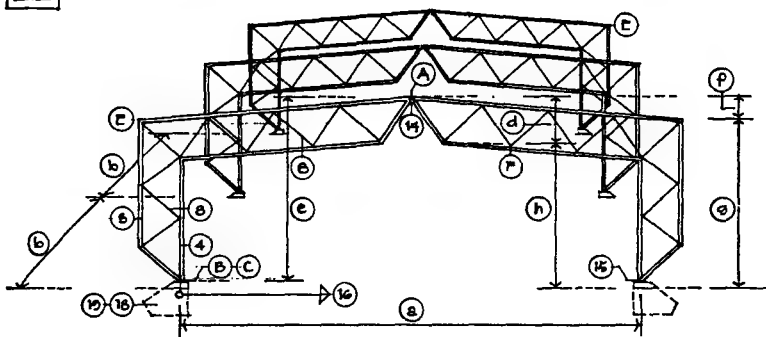
## ПРИЗНАКИ

Типичными структурными признаками являются ТРЕУГОЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ и УЗЛОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ.

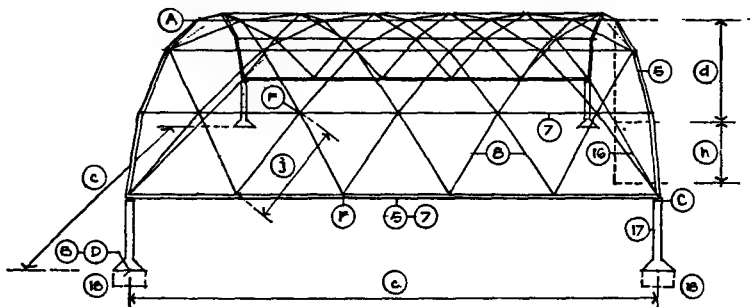
2.1 Плоские решетчатые стропильные фермы



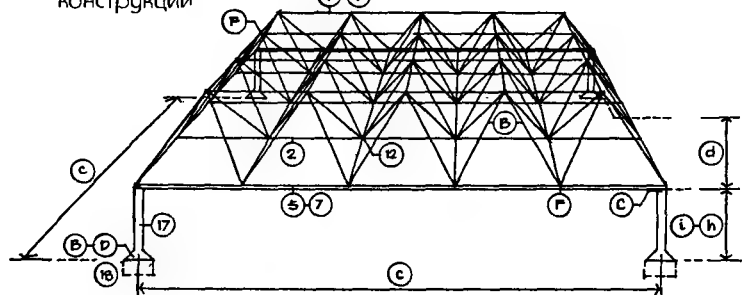
2.2 Плоские фахверки



2.3 Изогнутые фахверки



2.4 Решетчатые пространственные конструкции



## СОСТАВЛЯЮЩИЕ И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ

## Элементы системы

- 1 верхний пояс
- 2 нижний пояс
- 3 внешний пояс
- 4 внутренний пояс
- 5 краевой пояс
- 6 поперечный пояс
- 7 продольный пояс
- 8 стержень решетки
- 9 диагональный стержень (раскосный)
- 10 сжатый стержень, сжатый элемент
- 11 растянутый стержень, растянутый элемент
- 12 узлы, узловые соединения
- 13 шарнир
- 14 замковый (ключевой) шарнир
- 15 шарнир на конце стойки, пятый шарнир
- 16 анкерная стяжка
- 17 опоры
- 18 фундамент, основание
- 19 контрфорс, опора
- 20 опора
- 21 защемленная опора
- 22
- 23

## Топографические точки системы

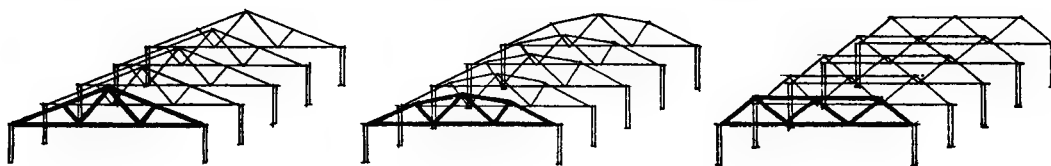
- A замковая точка
- B точка опоры в оси
- C точка опирания
- D точка защемления
- E точка свеса
- F узловая точка
- G
- H

## Габариты системы

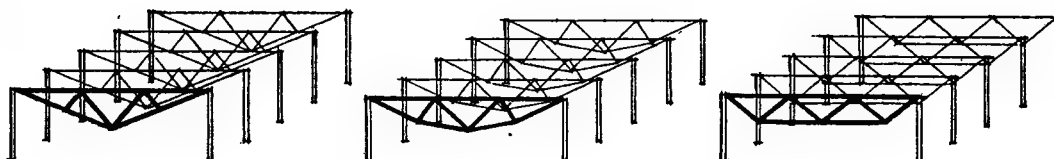
- a величина пролета, пролет
- b шаг
- c расстояние между опорами
- d высота конструкции
- e высота балки
- f высота наклона
- g высота свеса
- h высота в свету
- i высота опоры
- j длина стержня
- k
- l

## 2.1 ПЛОСКИЕ РЕШЕТЧАТЫЕ ФЕРМЫ

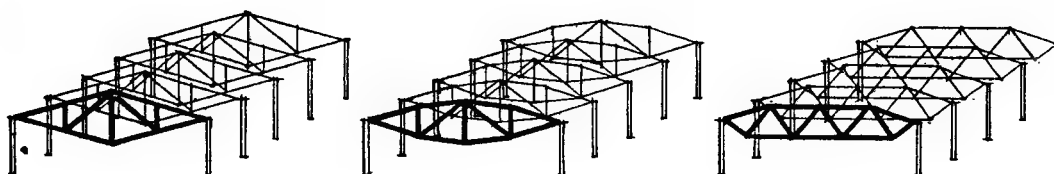
Системы с верхним поясом



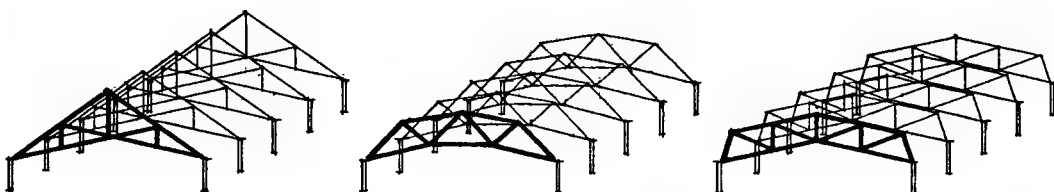
Системы с нижним поясом



Двухпоясные системы

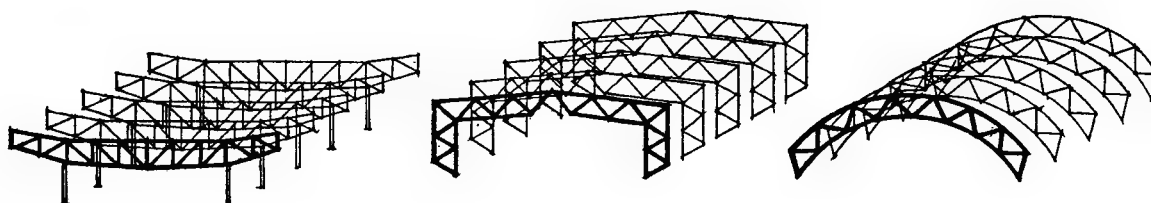


Остроконечные системы

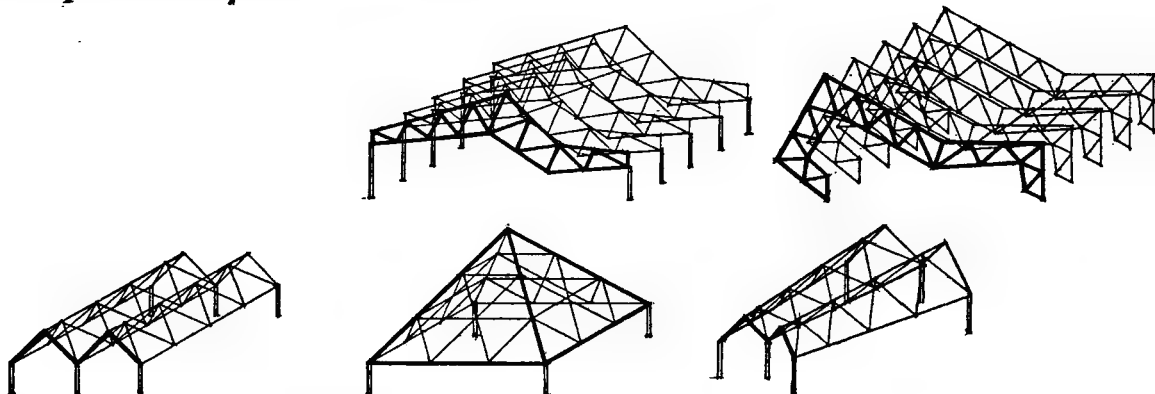


## 2.2 ПЛОСКИЕ ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Линейные системы



Складчатые системы

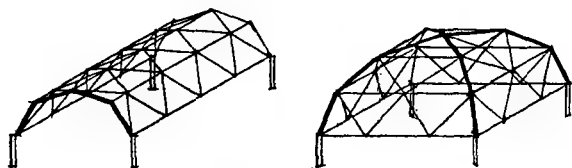


Пересекающиеся системы

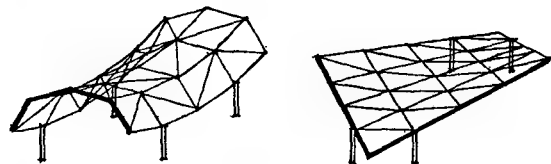


## 23 ИЗОГНУТЫЕ ФАХВЕРКИ (СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ КРИВОЛИНЕЙНОГО ОЧЕРТАНИЯ)

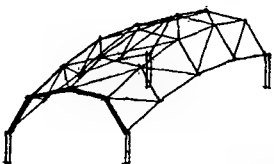
Простые изогнутые системы



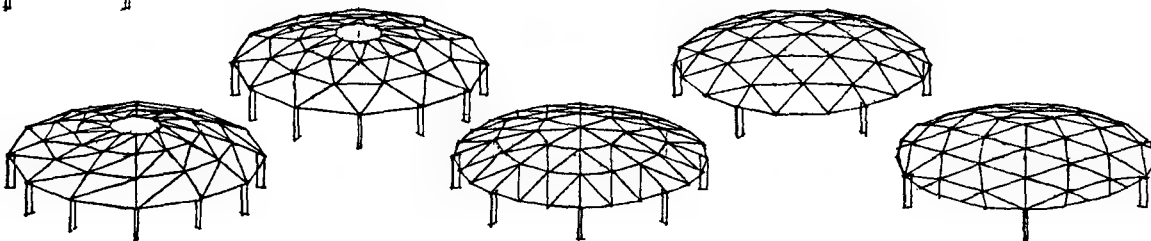
Седловидные системы



Куполообразные системы

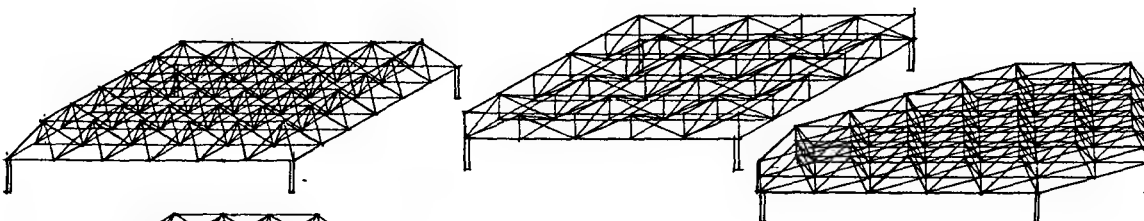


Сферические системы

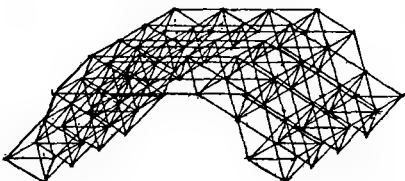


## 24 Пространственные фахверки (стержневые структуры)

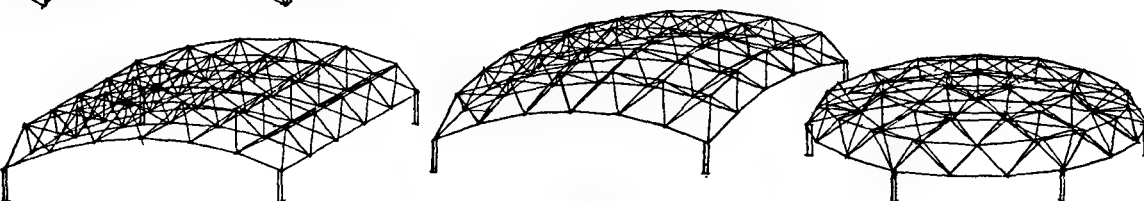
Плоские системы



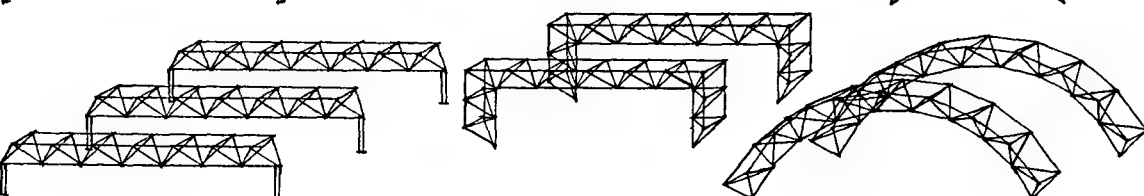
Складчатые системы



Криволинейные системы



Линейные системы



## ПРИМЕНЕНИЕ: НЕСУЩАЯ СИСТЕМА / СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ / ПРОЛЕТЫ

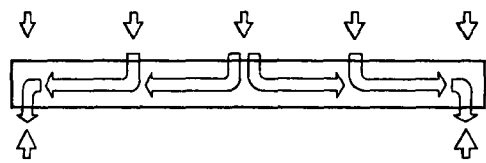
| Несущая система                                                |  | Исходный материал | Величина пролетов в метрах |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------|--|-------------------|----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                                                                |  |                   | 0                          | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плоские<br>решетчатые<br>фермы                                 |  | древесина         |                            |   | 6  |    | 15 | 20 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 10 |    | 15 | 20 |    | 50 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 10 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.1                                                            |  | металл (сталь)    |                            |   | 10 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 10 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 10 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плоские<br>фахверковые<br>системы                              |  | древесина         |                            |   | 15 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 15 |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 15 |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.2                                                            |  | металл (сталь)    |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Изогнутые<br>фахверковые<br>системы                            |  | древесина         |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.3                                                            |  | металл (сталь)    |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 8  |    | 12 | 15 | 20 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Простран-<br>ственные<br>фахверки<br>(стержневые<br>структуры) |  | древесина         |                            |   | 8  |    | 15 | 20 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 6  |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 6  |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.4                                                            |  | металл (сталь)    |                            |   | 6  |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 6  |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 6  |    | 25 | 30 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.5                                                            |  | древесина         |                            |   | 15 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | металл (сталь)    |                            |   | 15 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                |  | древесина         |                            |   | 15 |    | 20 | 25 | 40 |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Каждому типу несущей конструкции должно соответствовать специфическое напряженное состояние. Отсюда следуют неиз-

бежные связи с выбором исходного строительного материала и сочетанием пролетов.

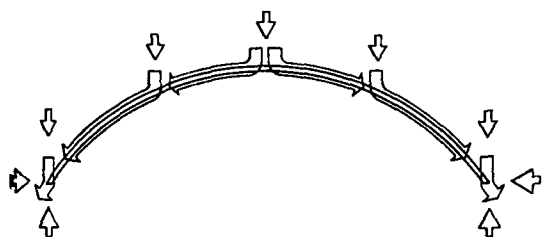
## МЕХАНИЗМ ФАХВЕРКА СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ МЕХАНИЗМАМИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ

## УСТОЙЧИВОСТЬ ФЕРМЫ БЛАГОДАРЯ ТРЕУГОЛЬНОМУ СОЕДИНЕНИЮ



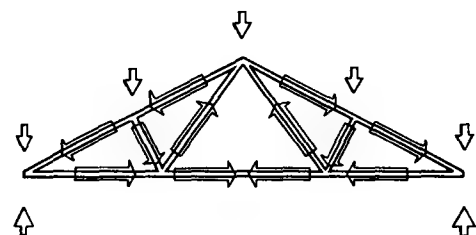
механизм несущей балки

перераспределение внешних сил благодаря поперечному сечению материала



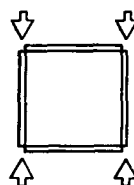
механизм несущей арки

перераспределение внешних сил благодаря соответствующей форме материала

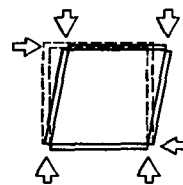


механизм фермы

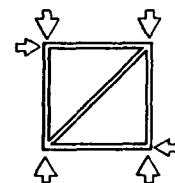
перераспределение внешних сил благодаря правильному расположению отдельных стержней



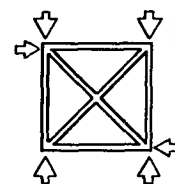
Рама с четырьмя угловыми шарнирами находится в равновесии только теоретически.



При односторонней нагрузке система отказывает, если углы не закреплены.

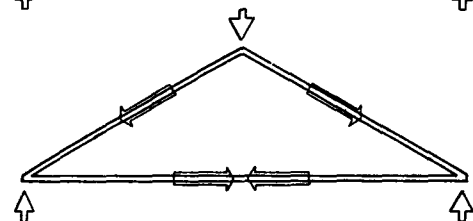
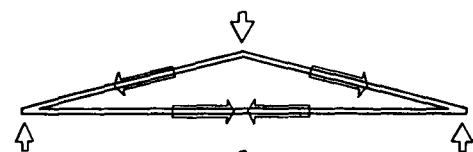


Диагональный стержень предотвращает деформацию. Рама становится факелом.

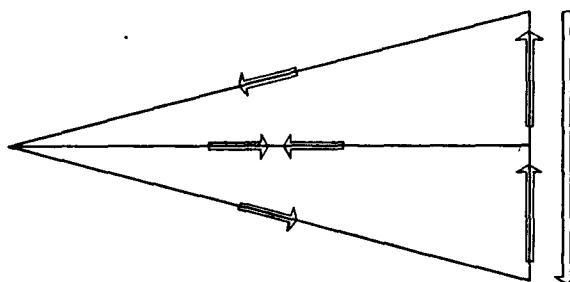


Второй диагональный стержень повышает жесткость, но для векторного воздействия в этом нет необходимости.

## СИСТЕМА РАЗЛОЖЕНИЯ ВЕКТОРОВ

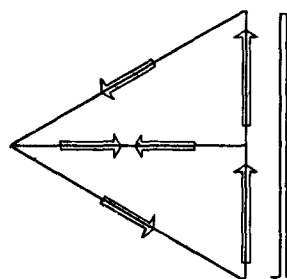


Каждая из внешних сил уравновешивается усилиями двух или нескольких векторов.



Высота конструкции уменьшается.

Стержневые усилия становятся больше, т. к. их компоненты в направлении внешних сил становятся меньше, а их воздействие менее значимым.



Высота конструкции увеличивается.

Стержневые усилия уменьшаются, т. к. их компоненты становятся больше в направлении внешней силы, а их воздействие становится существеннее.

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ КОНСТРУКЦИИ НА НАГРУЖЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ РЕШЕТКИ

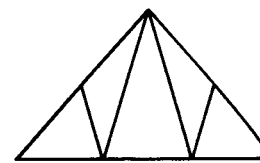
Высоты конструкций



НИЗКОЯ

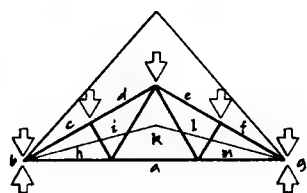


средняя



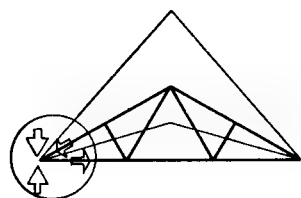
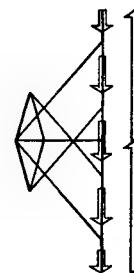
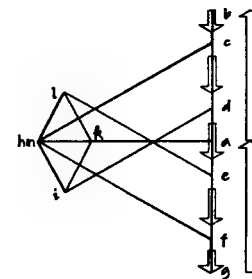
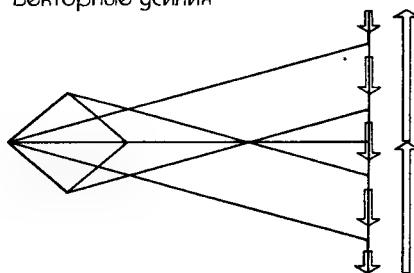
ВЫСОКОЯ

Точки пересечения (узлы)

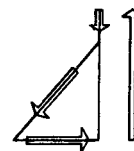
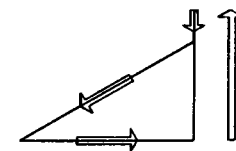
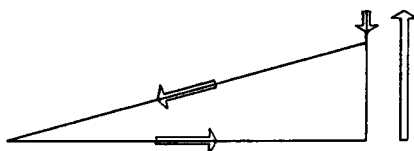


все узлы

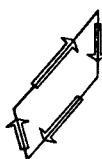
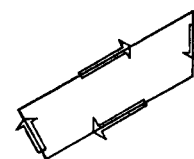
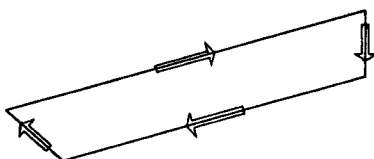
Векторные усилия



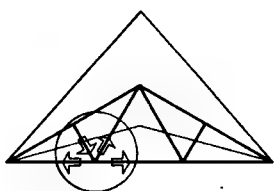
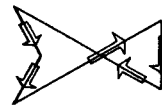
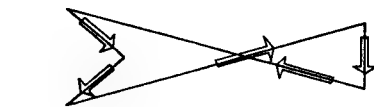
узел на опоре



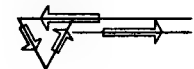
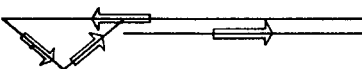
узел в верхнем поясе



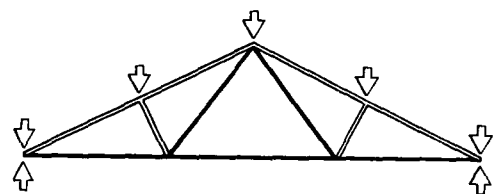
коньковый узел



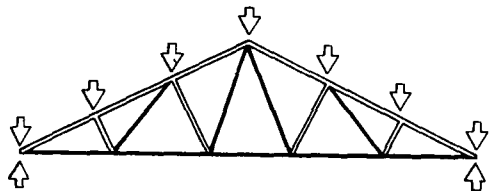
узел в нижнем поясе



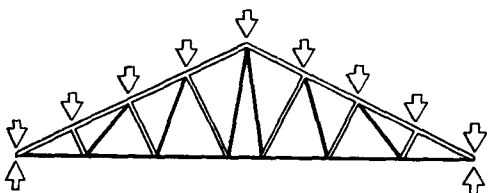
### ВЛИЯНИЕ РАЗБИВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАРТИНУ НАПРЯЖЕНИЙ



разбивка на 4 поля

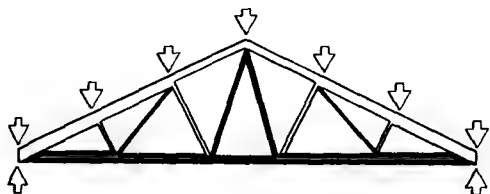


разбивка на 6 полей

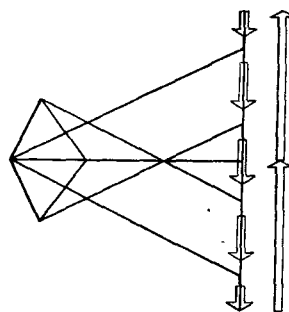


разбивка на 8 полей

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТДЕЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

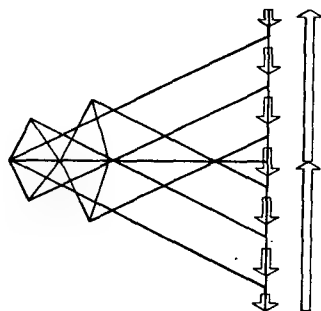


### Бельгийский фахверк



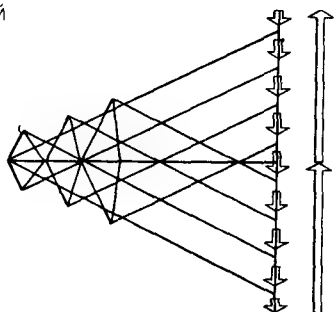
4 поля

Основные напряжения (сжатия)  
в стержнях верхнего пояса с  
критическими длинами



6 полей

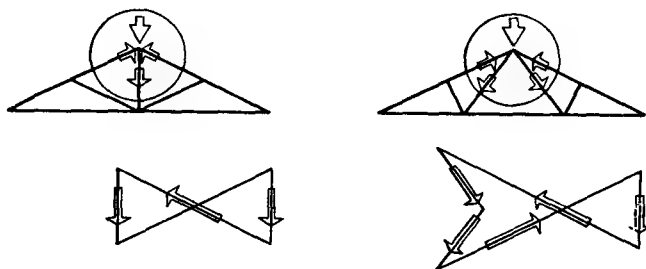
Значительное уменьшение кри-  
тической длины стержней верх-  
него пояса. Отчетливое умень-  
шение напряжения в диа-  
гональных стержнях



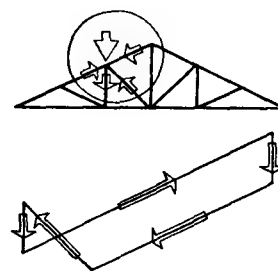
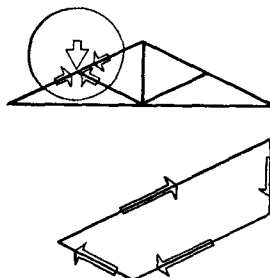
8 полей

Незначительное уменьшение  
критической длины стержней  
верхнего пояса. Едва заметное  
уменьшение напряжения в диа-  
гональных стержнях

### ВЛИЯНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ РЕШЕТКИ НА КАРТИНУ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ



### Равномерное нагружение фахверка



Несмотря на дополнительный стержень, напряжение в стержнях в коньковом узле повышается из-за неэффективности угла промежуточных стержней.

Несмотря на увеличение количества полей, напряжение в стержнях в узловых точках уменьшается очень незначи-  
тельно из-за изменения угла промежуточных стержней.

## ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ФЕРМЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЯСАХ И СТЕРЖНЯХ

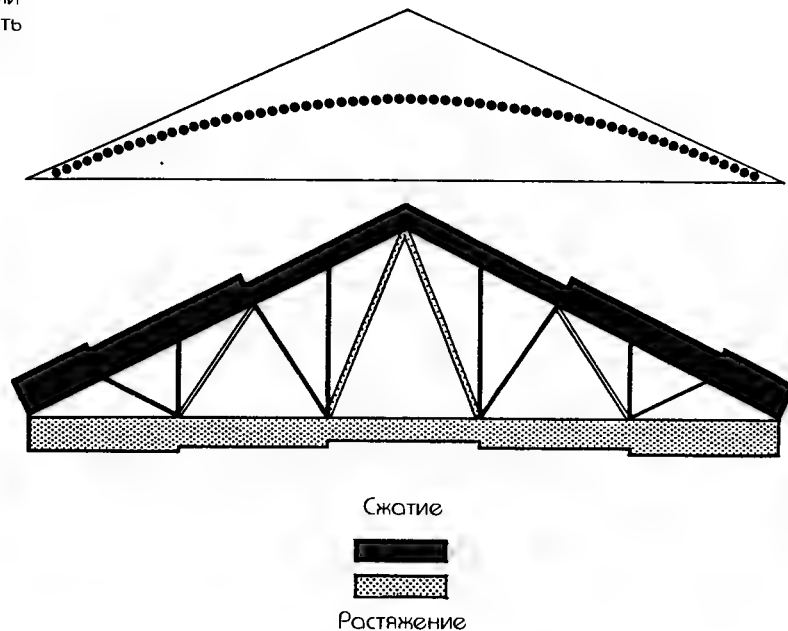
Аналогично цепочной линии линия опор (кривая давления) характеризует естественные процессы, т. к. вследствие силы тяжести идет определенный процесс давления на опоры внутри однородной несущей материи. Анализируя профиль фермы, можно распределить реакции опор на нагрузки внутри фермы.

Общее положение: чем больше расстояние несущей материи от опорной линии (кривой давления), тем ниже эффективность перераспределения сил и экономичность.

### Треугольная ферма

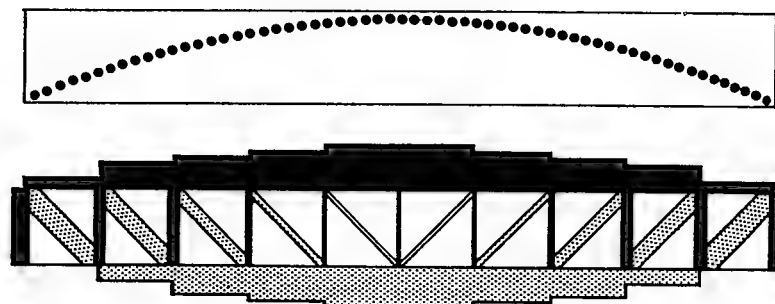
Только на опорах профиль фермы приближается к кривой давления. Здесь целиком используется мощность поясов, а также здесь возникают максимальные усилия.

Критическая концентрация усилий в области опор



### Ферма с параллельными поясами

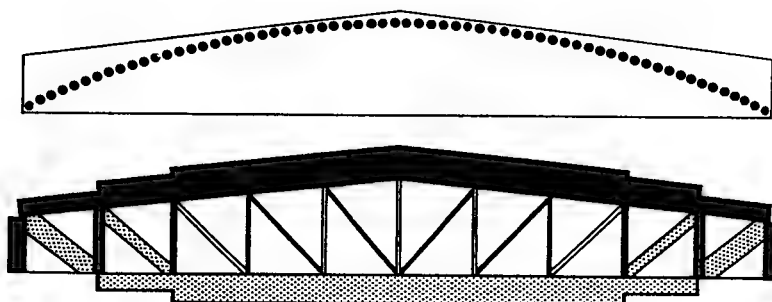
Только в центре профиль фермы соответствует линии давления. Здесь полностью используется эффективность поясов; здесь наступают максимальные усилия. Критическая концентрация усилий в центральной области



### Ферма с трапециевидными поясами

Профиль фермы в достаточной степени соответствует кривой линии давления. Пояса нагружаются в увеличившейся центральной зоне: усилия распределяются равномерно.

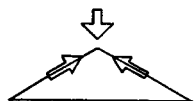
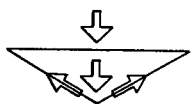
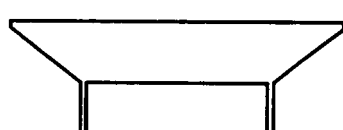
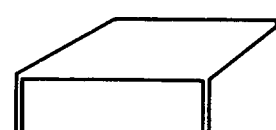
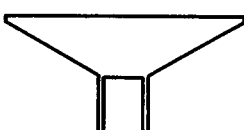
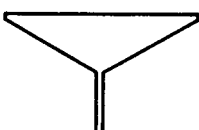
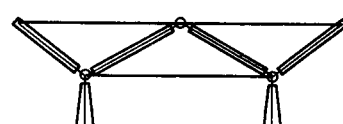
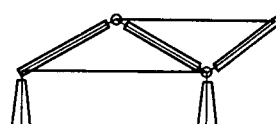
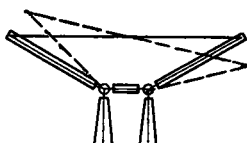
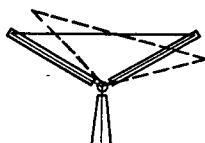
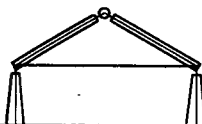
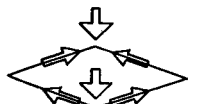
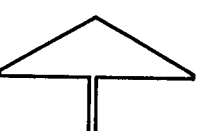
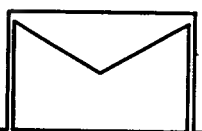
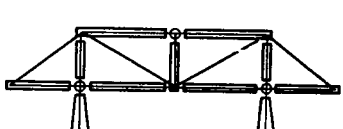
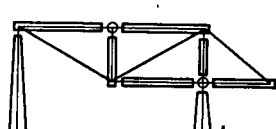
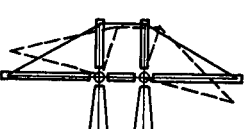
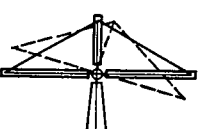
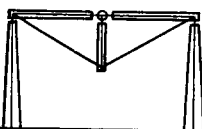
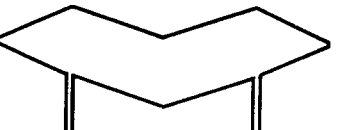
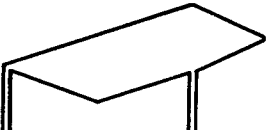
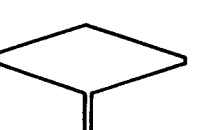
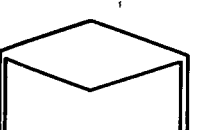
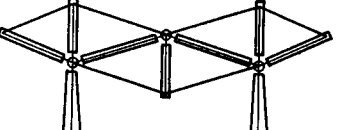
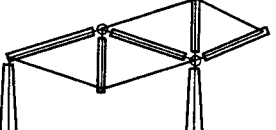
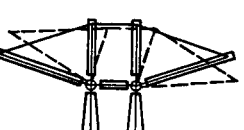
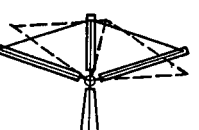
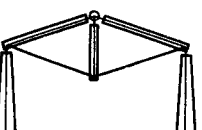
Более ровное распределение усилий центром тяжести в центре фермы



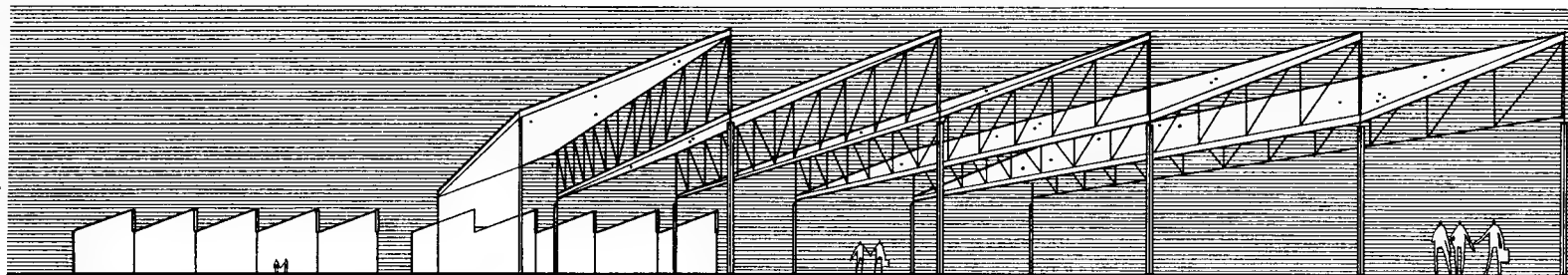


## ОТХОД ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ПРОСТЫХ ДВУХМЕРНЫХ ФЕРМ

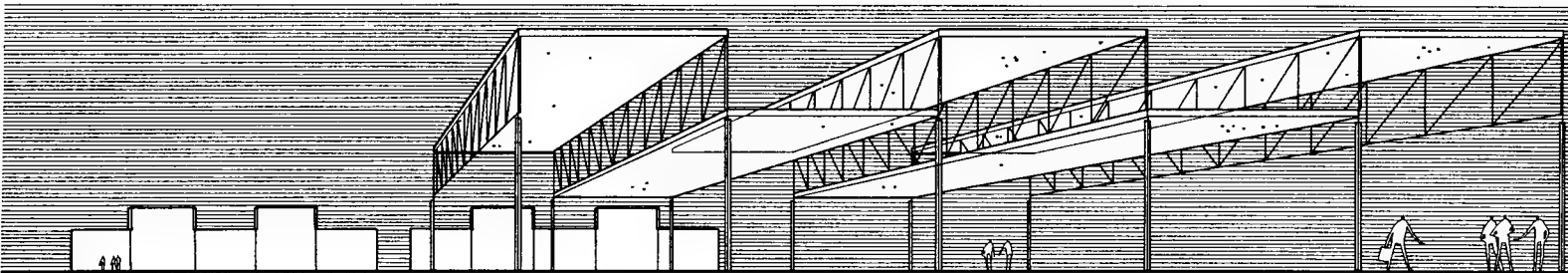
Влияние условий опирания на форму несущей конструкции

векторное влияние через  
угол сжатиявекторное влияние через  
угол растяжениявекторное влияние через  
углы растяжения и сжатия

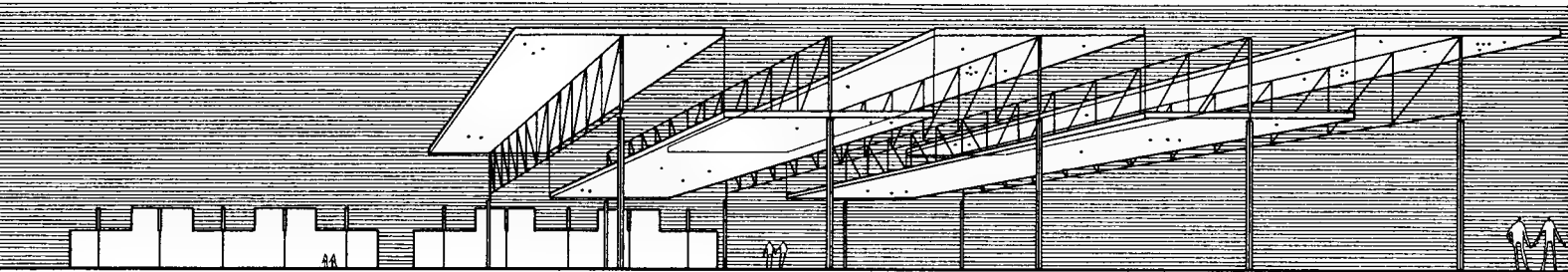
## ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КРЫШ ПО РЕШЕТЧАТЫМ ФЕРМАМ



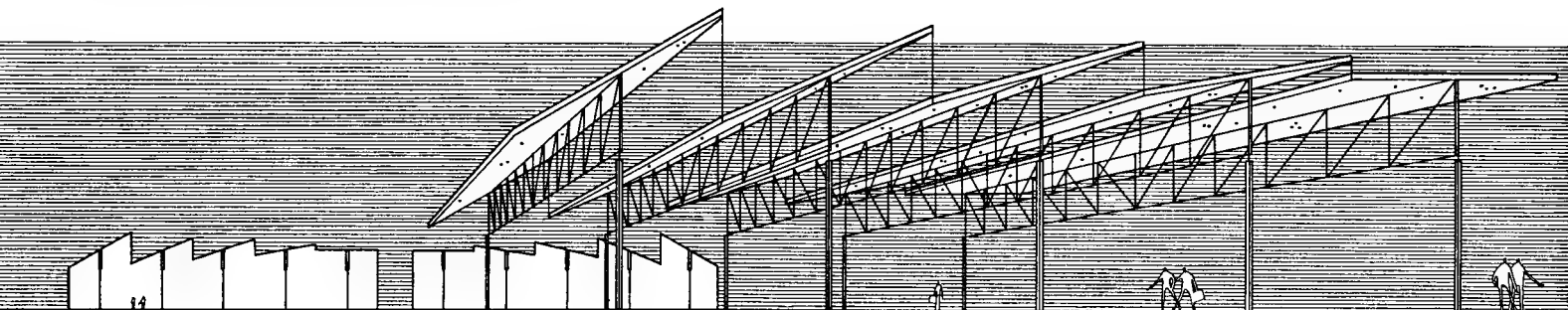
Наклонные поверхности крыши, поддерживаемые с двух сторон



Чередующиеся горизонтальные поверхности крыши, поддерживаемые с двух сторон

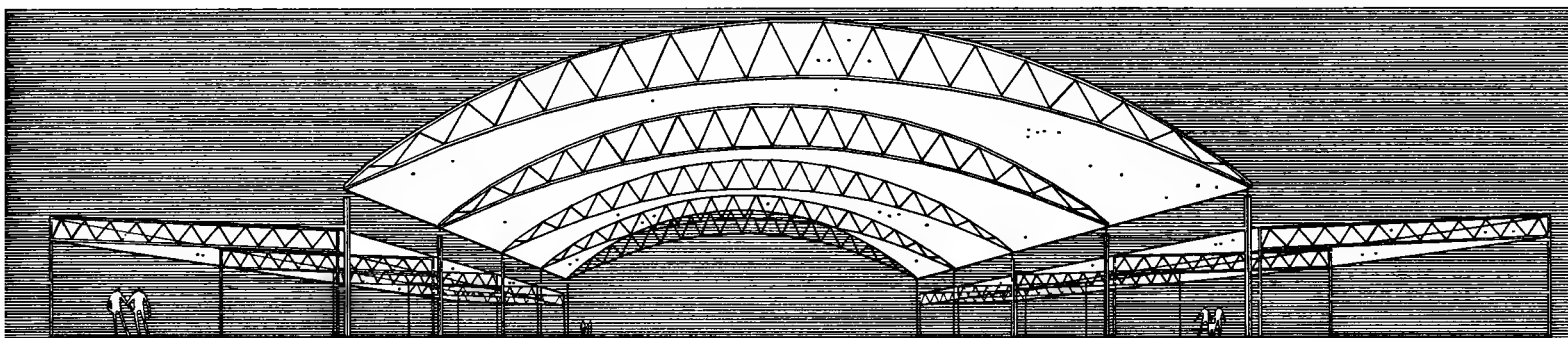


Чередующиеся горизонтальные поверхности крыши, поддерживаемые посередине

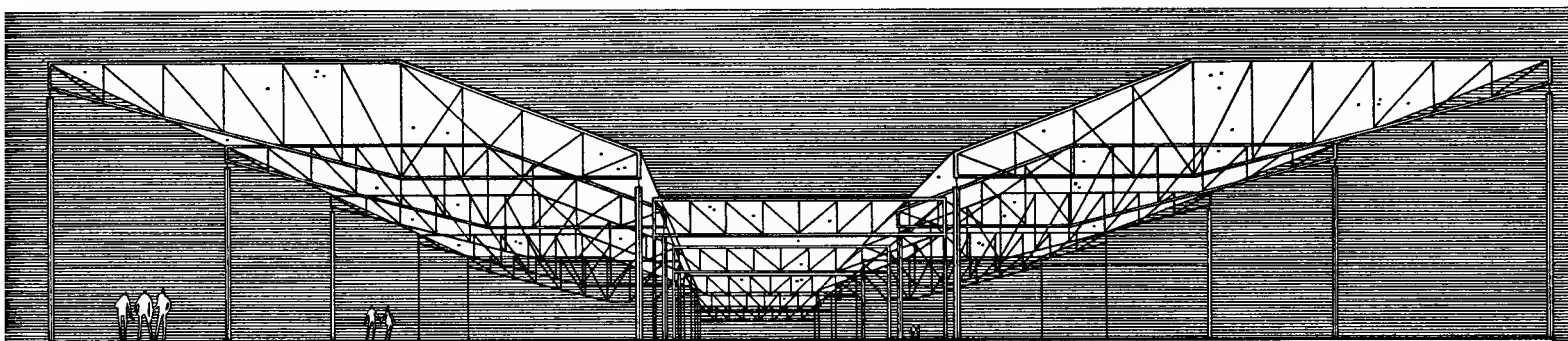


Поверхности крыши, имеющие разный наклон, поддерживаемые посередине

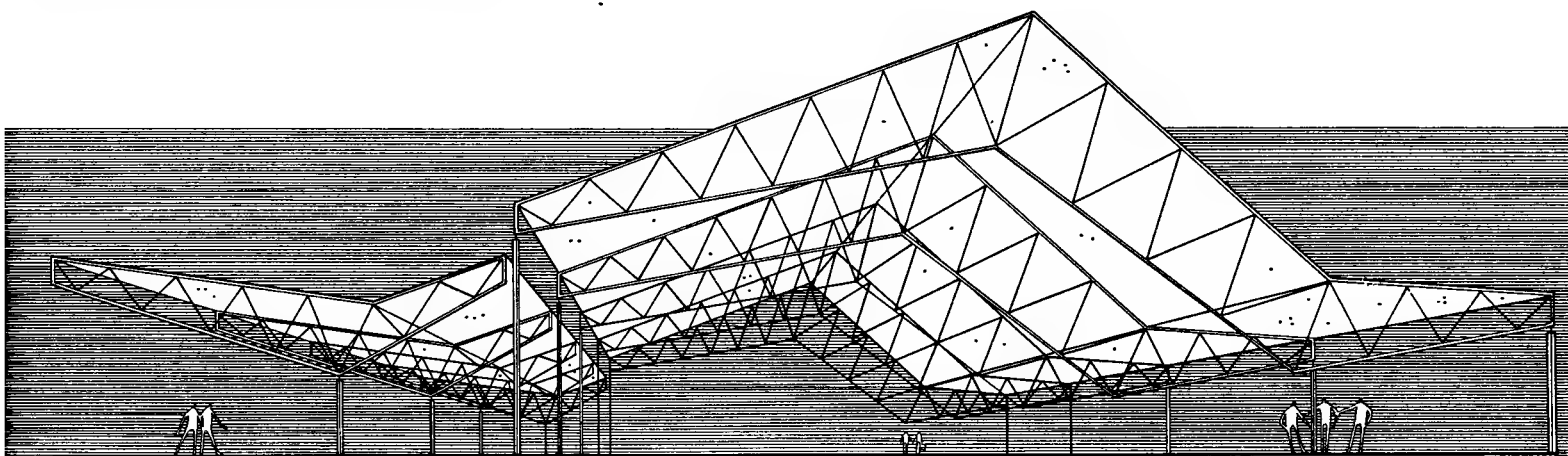
## КОМПОЗИЦИИ РЕШЕТЧАТЫХ ФЕРМ С БОЛЬШИМИ И МАЛЫМИ ПРОЛЕТАМИ



Симметричная композиция с решетчатой  
большепролетной фермой посередине

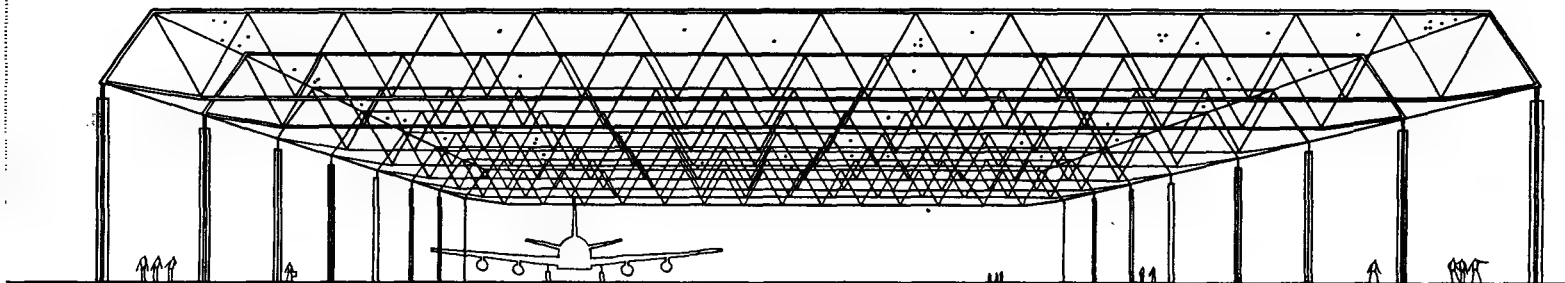


Симметричная композиция с решетчатыми  
большепролетными фермами по краям

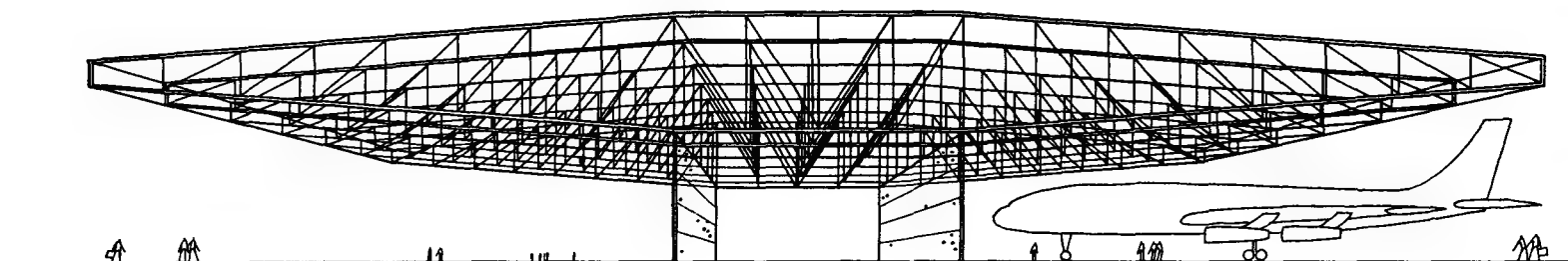


Асимметричная композиция решетчатых  
ферм с большим и малым пролетами

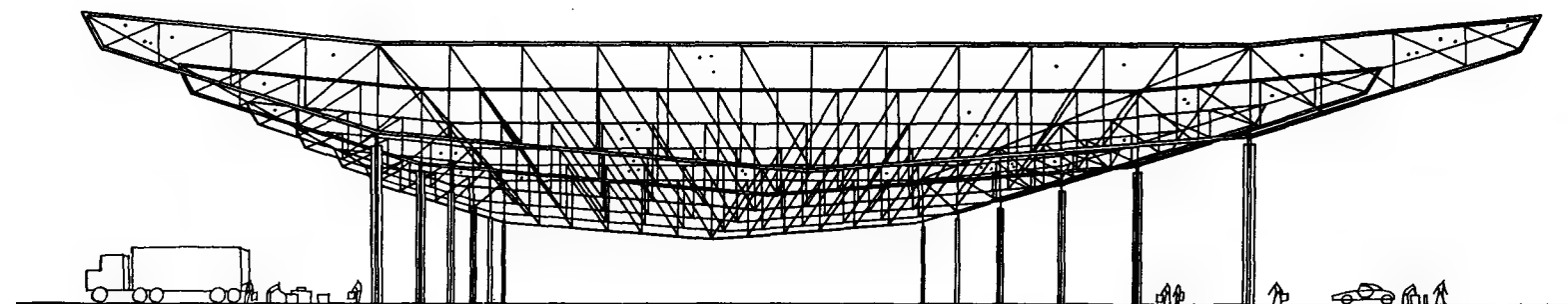
## РЕШЕТЧАТЫЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ ФЕРМЫ С РАЗЛИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ОПИРАНИЯ



Решетчатые фермы, поддерживаемые с двух концов: несущая конструкция со свободным опиранием

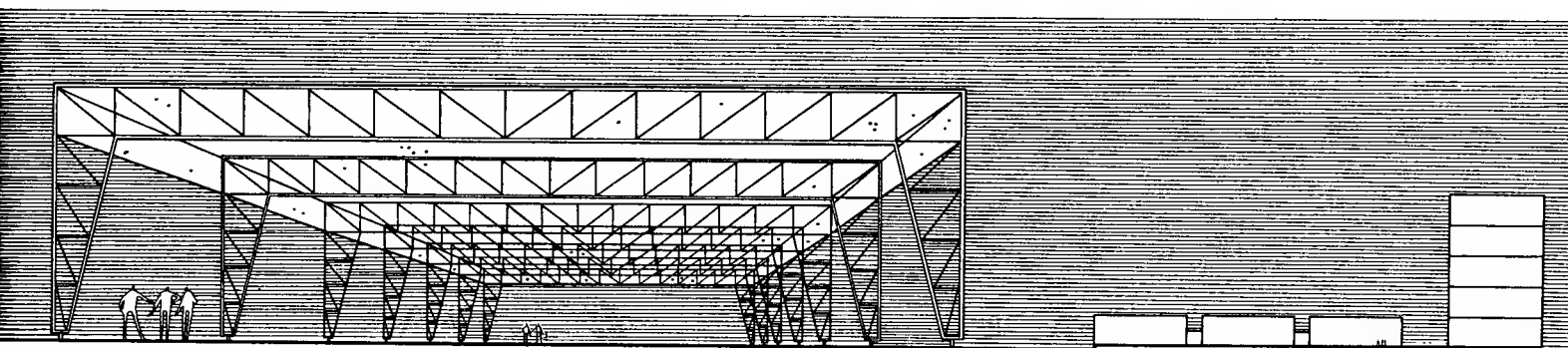


Решетчатые фермы с двумя опорами посередине: консольная несущая конструкция

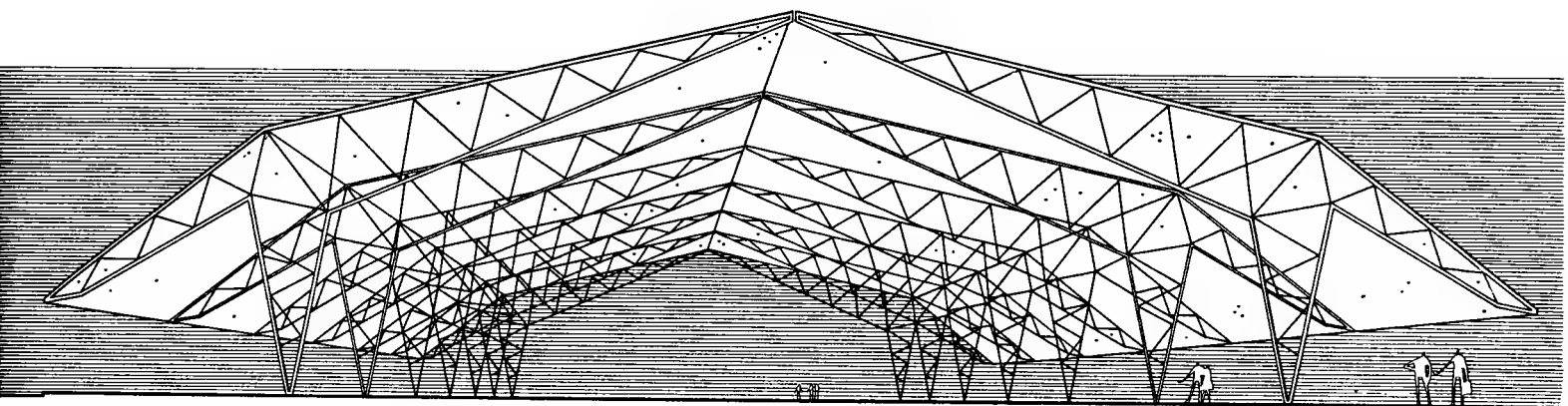


Решетчатые фермы с вынесенными концами: консольная несущая конструкция со свободным опиранием

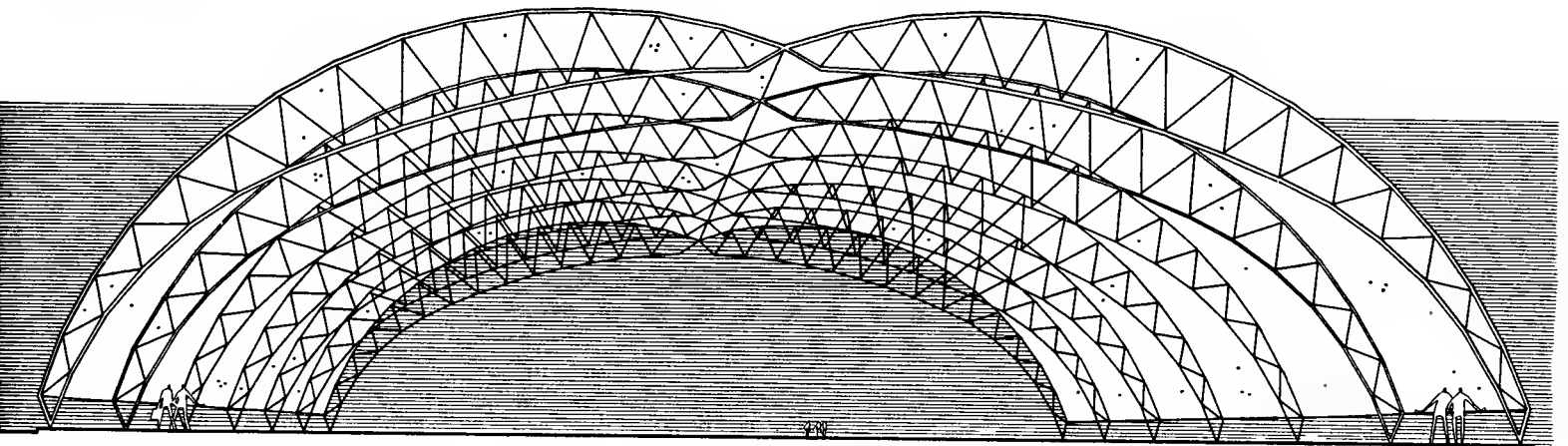
Использование принципа фахверка для других несущих систем



двухшарнирная решетчатая  
рама

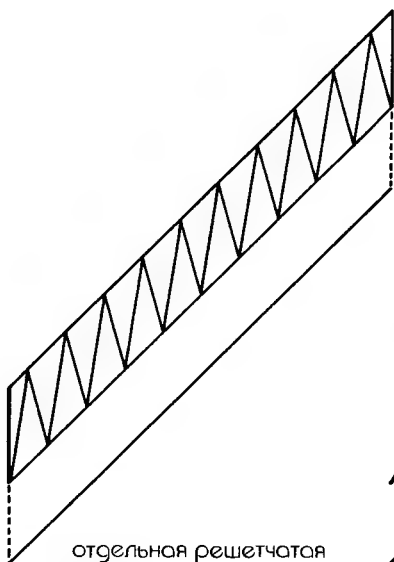


трехшарнирная решетчатая  
рама с консолями

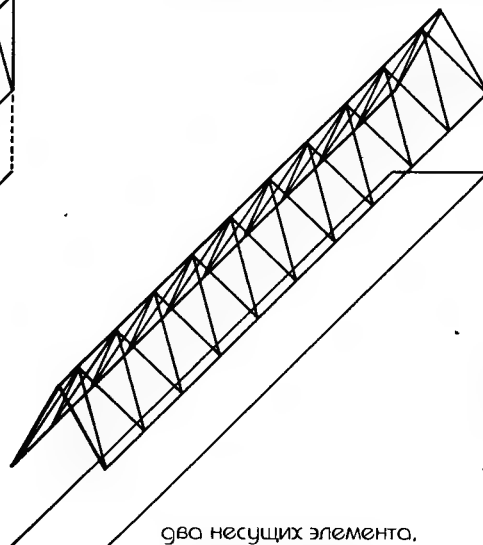


трехшарнирная решетчатая  
арка

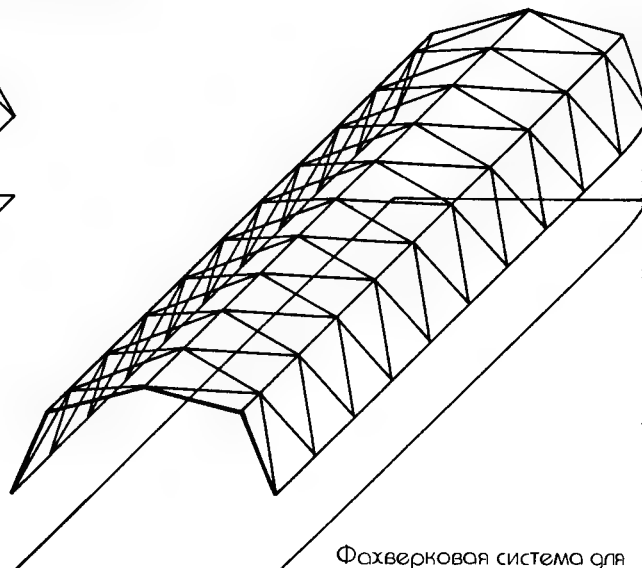
# СТРУКТУРА ПЛОСКОЙ РЕШЕТЧАТОЙ ФЕРМЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМУ ДЛЯ СКЛАДЧАТЫХ ИЛИ ИЗОГНУТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



отдельная решетчатая ферма

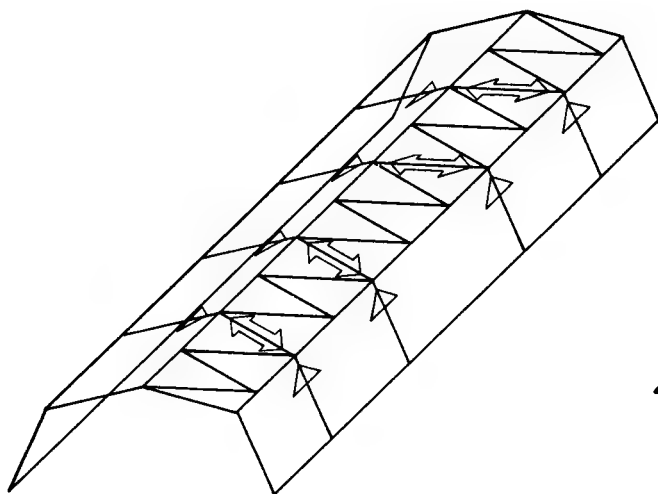


два несущих элемента, соединенных сверху

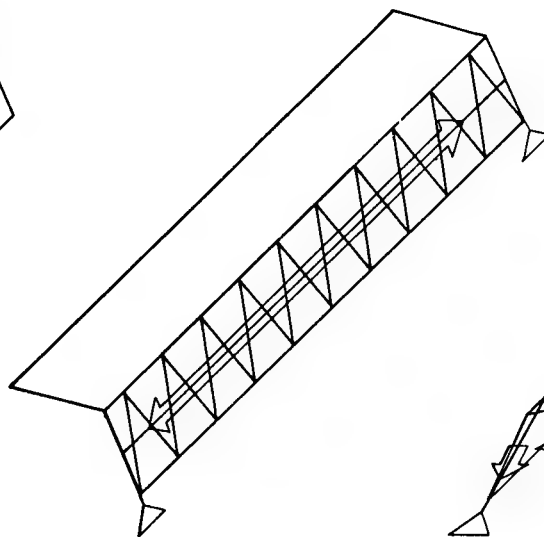


Фахверковая система для складчатой поверхности

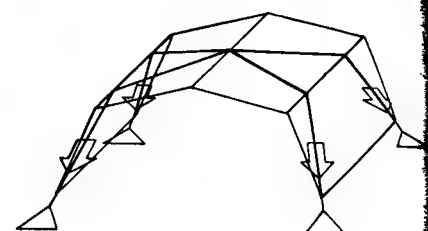
## ТРОЙНОЙ НЕСУЩИЙ ЭФФЕКТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ФАХВЕРКА



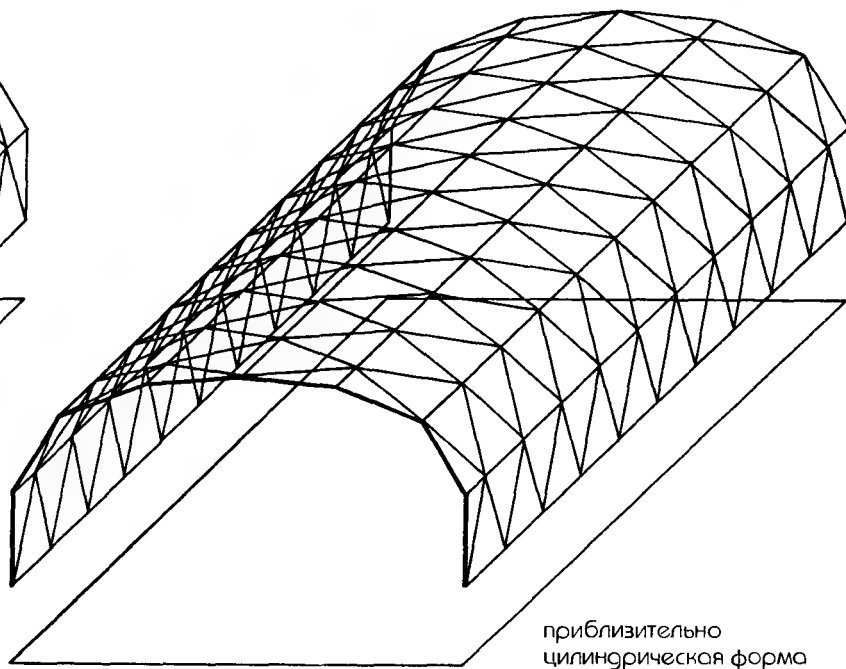
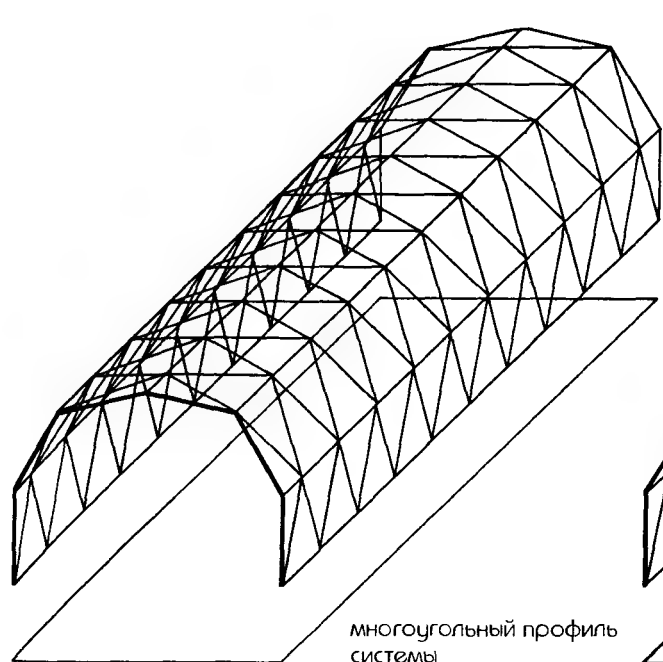
создание несущего эффекта в поперечном направлении между поясами как отдельными несущими элементами



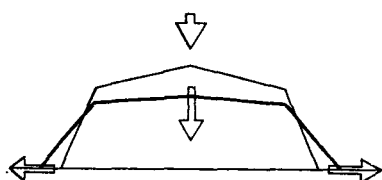
создание несущего эффекта в продольном направлении отдельной решетчатой фермой



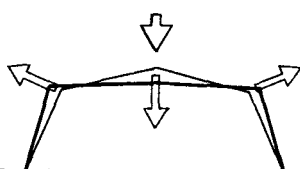
создание несущего эффекта отдельными диагональными арками



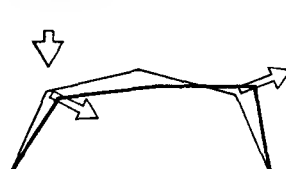
### КРИТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ В ПРИЗМАТИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ФАХВЕРКЕ



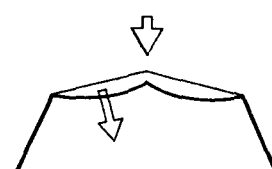
боковые отклонения точек опор



понижение вершины опор

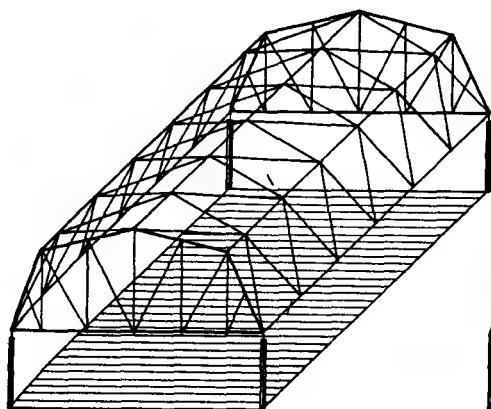


изменение угла профиля

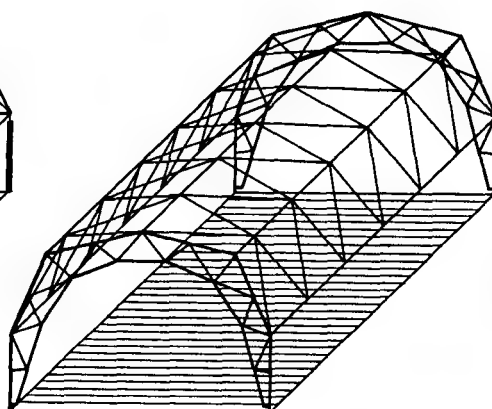


изгиб (продольный изгиб) сторон

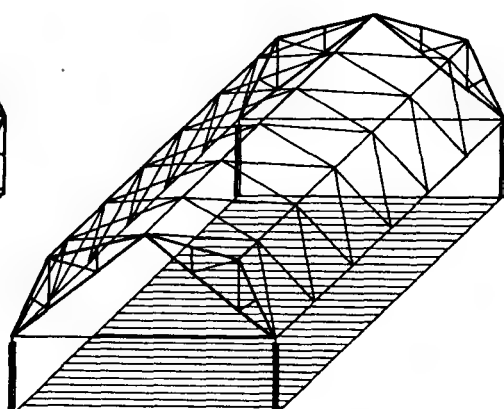
### Стандартные формы для решетчатых поперечных диафрагм жесткости



Решетчатая перемычка на опорах

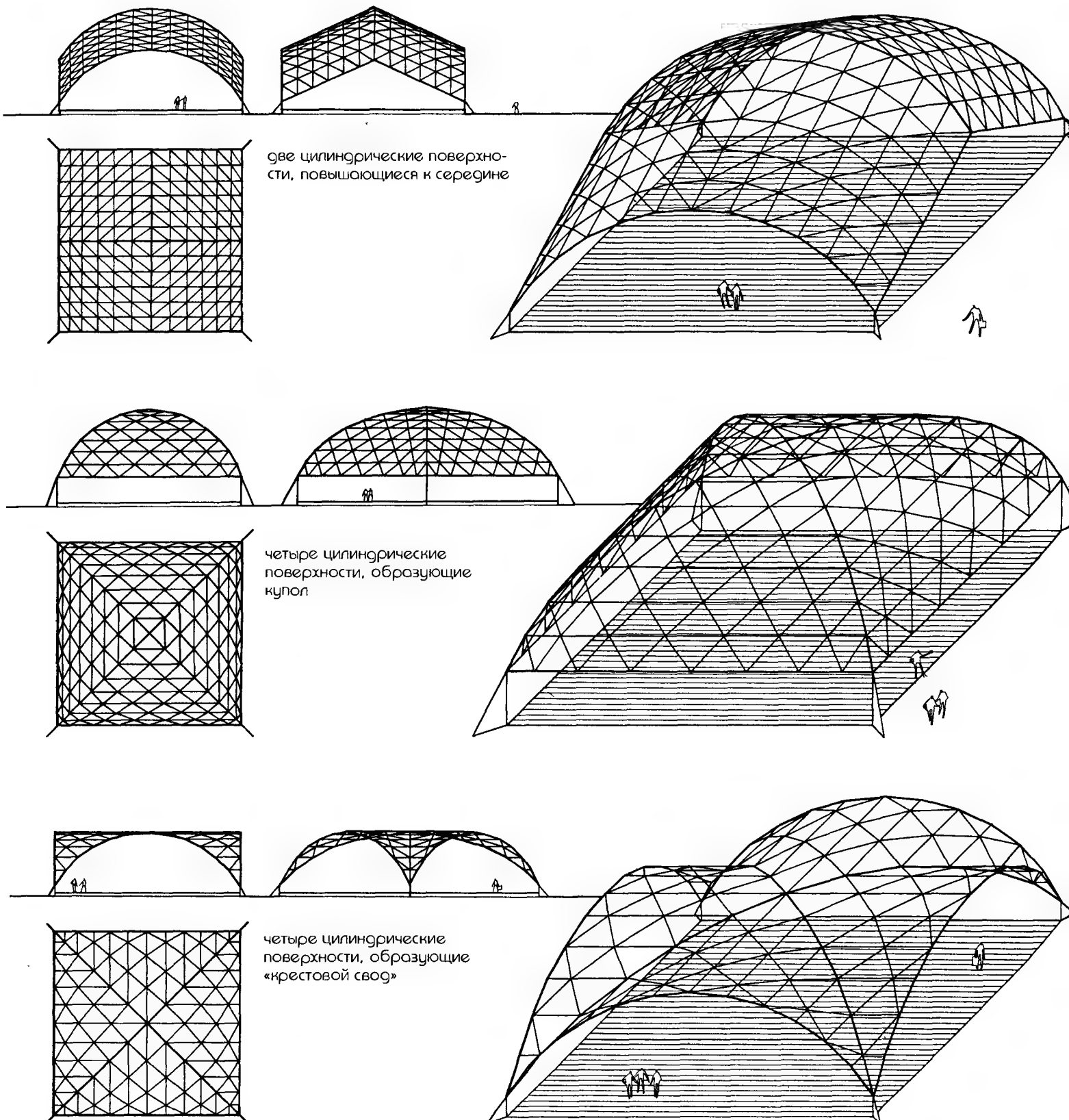


Двухшарнирная решетчатая арка на фундаменте



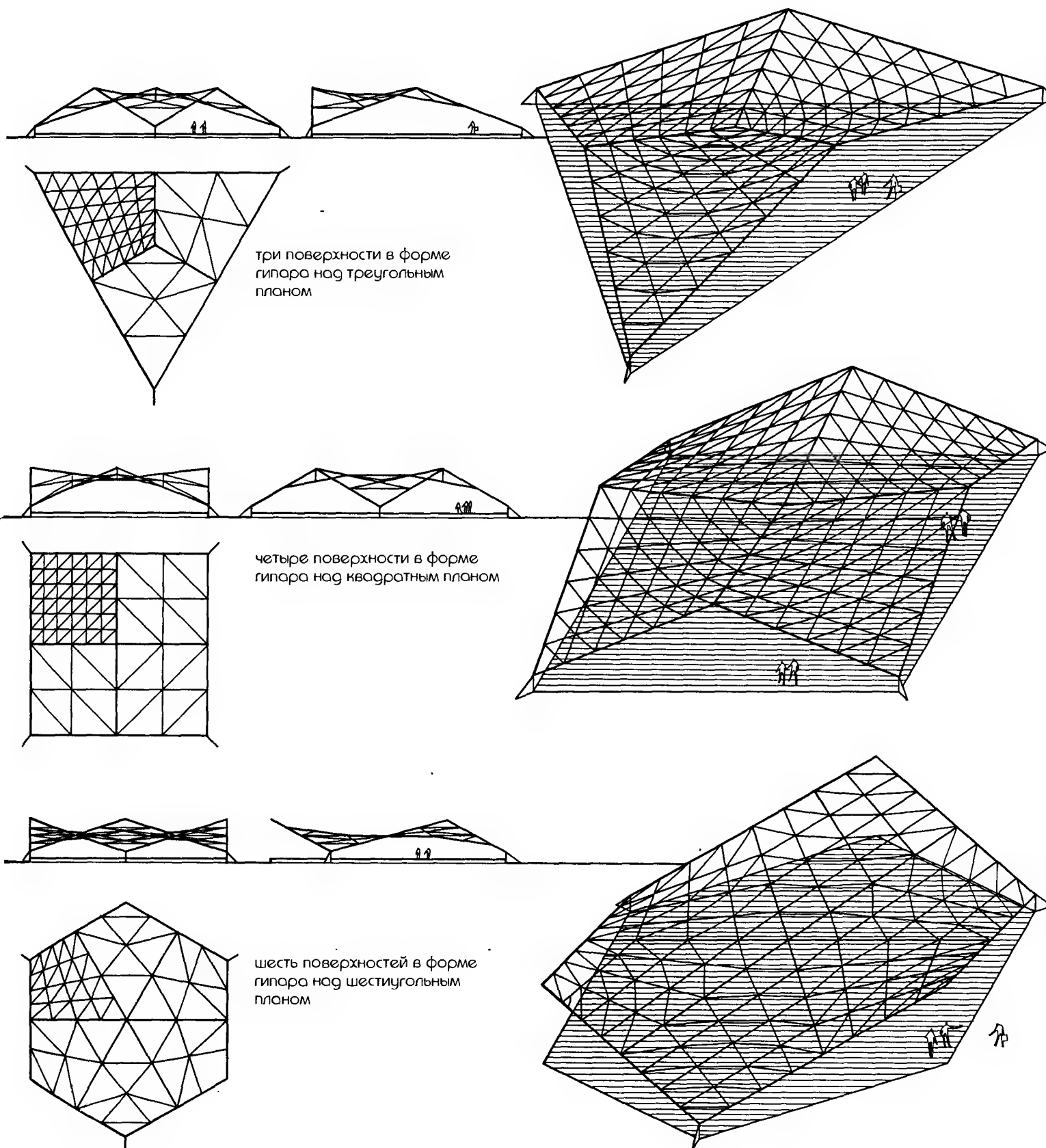
Трехшарнирная решетчатая рама со стяжкой на опорах

## ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОСТЫХ ИЗОГНУТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

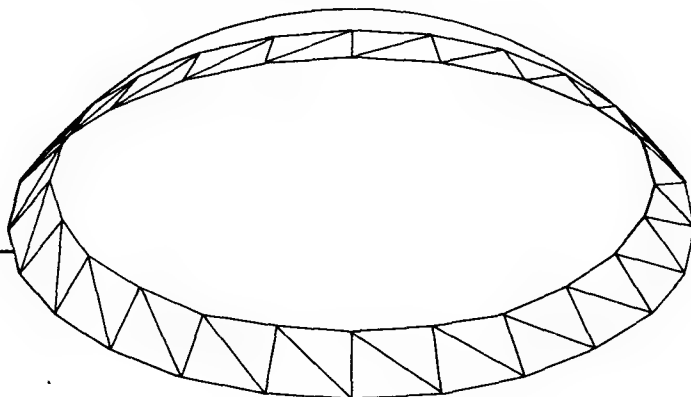
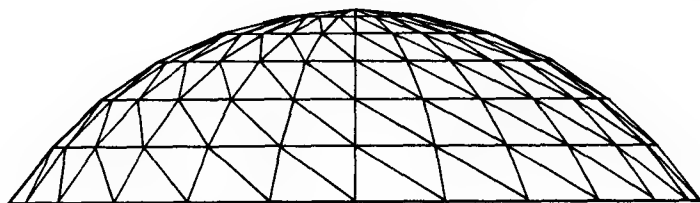




## ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ В ФОРМЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ПАРАБОЛОИДОВ (ГИПАРОВ)

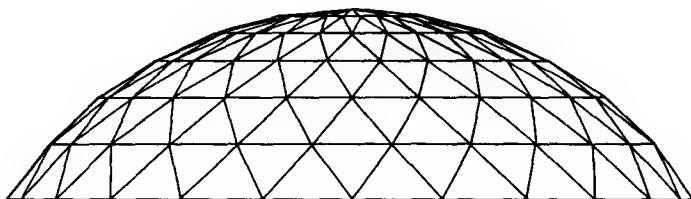
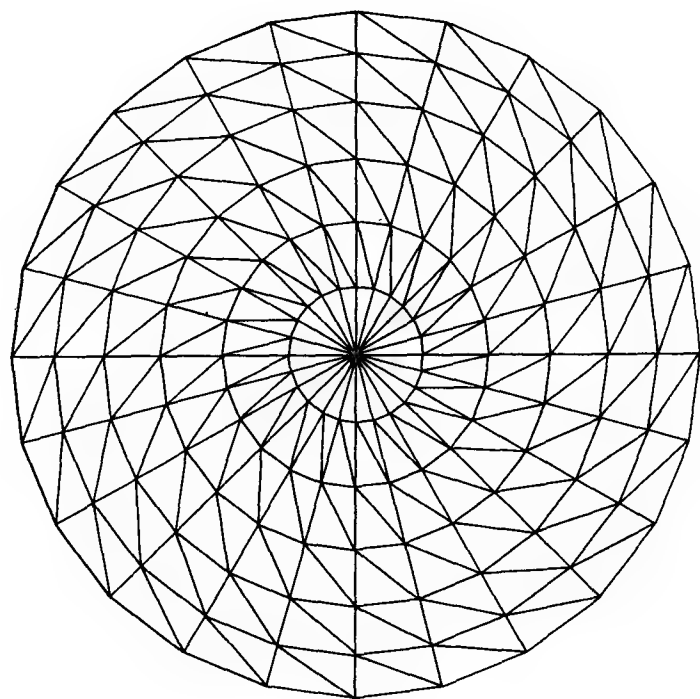


## ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



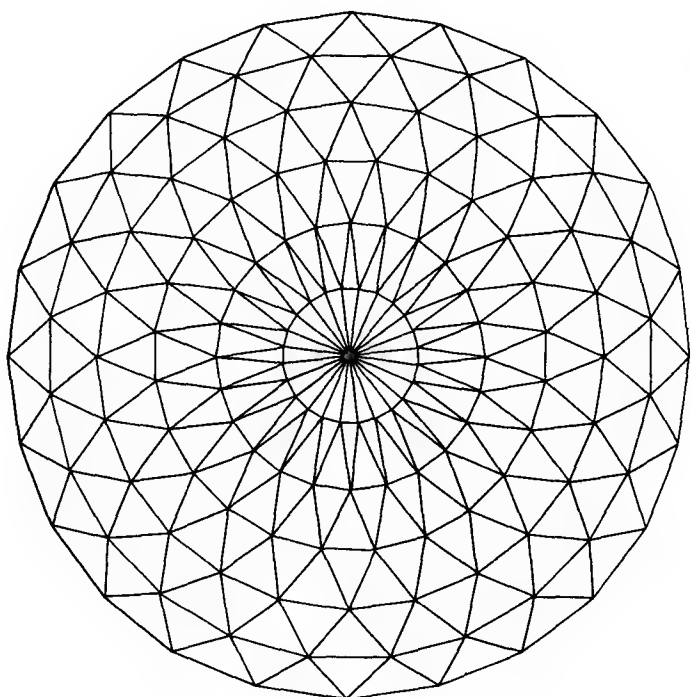
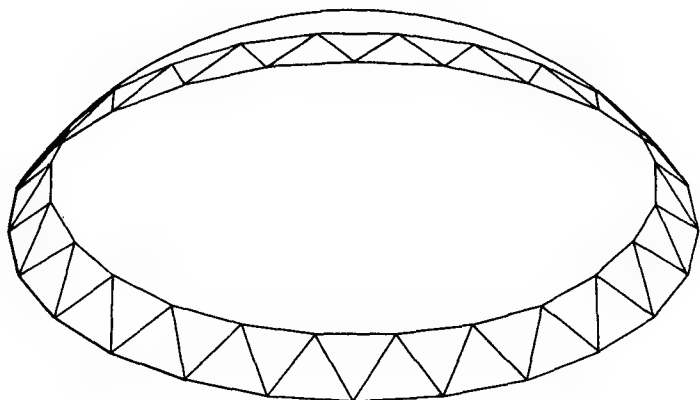
Сферические кольца с леводиагональным делением решетки

Купол Шведлера

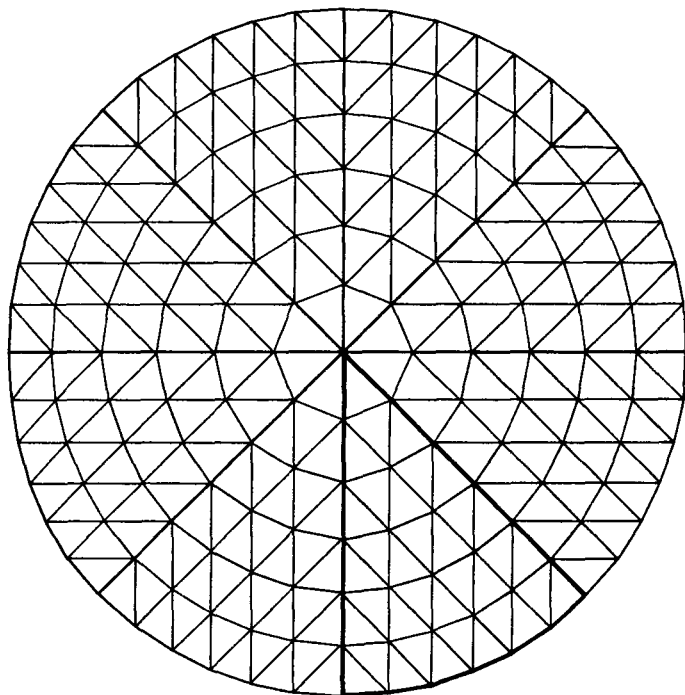
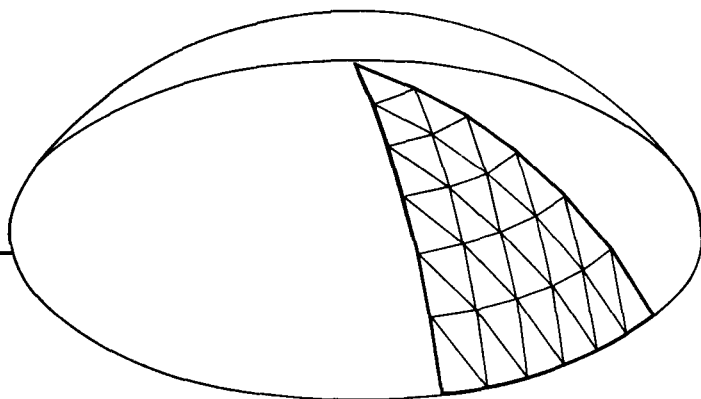
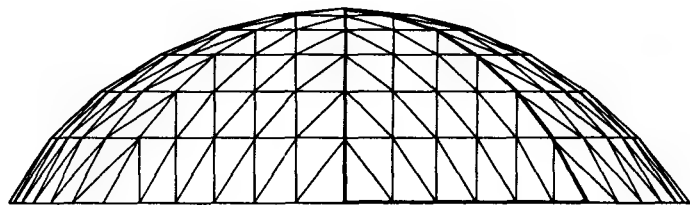


Сферические кольца с двусторонним диагональным делением решетки

Решетчатый купол

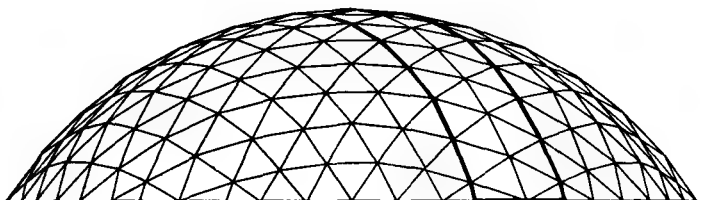


## ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



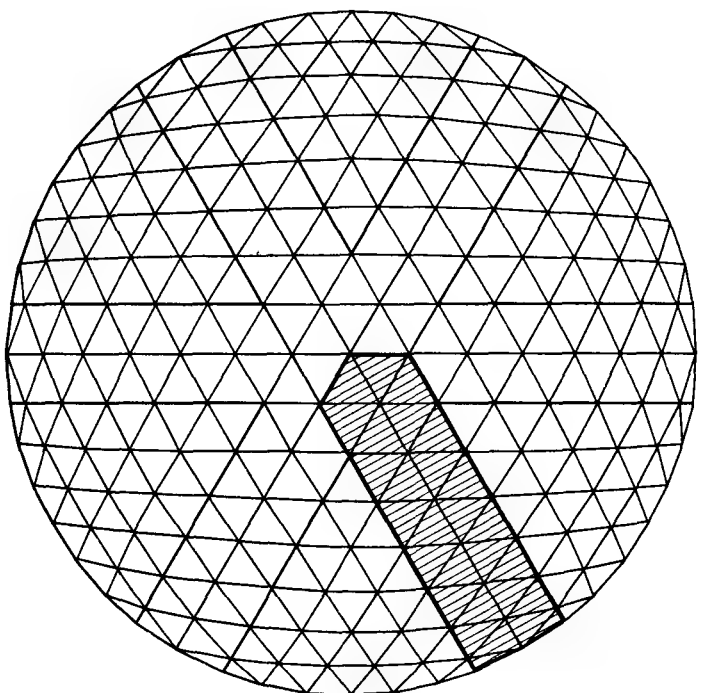
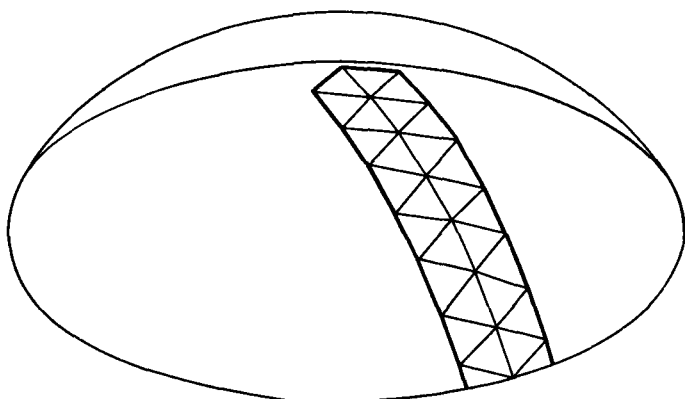
Сферические сегменты с параллельным делением решетки

Сфера с параллельными поясами

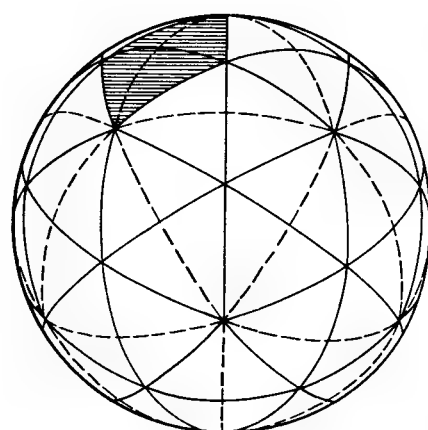
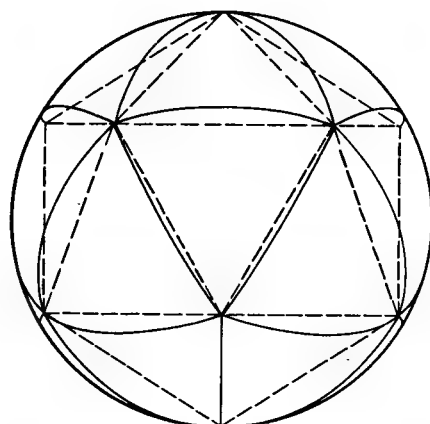
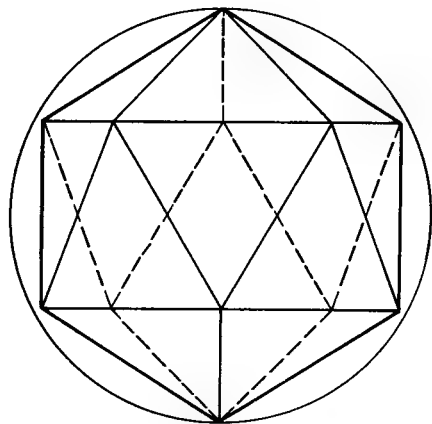


Сферические полосы с шестиугольным делением решетки

Шестиугольный пластинчатый купол



## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ РАЗГРАНИЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КУПОЛОВ



двадцатигранник (икосаэдр)

20 равновеликих равносторонних треугольников

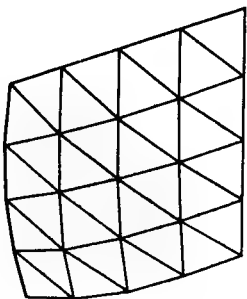
сферический икосаэдр

20 равновеликих равносторонних сферических треугольников

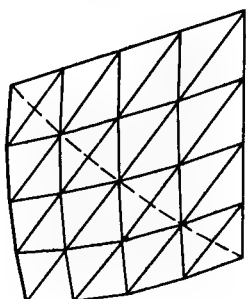
Деление угла пополам (биссекция)

60 одинаковых треугольников, образованных 15 дугами большого круга

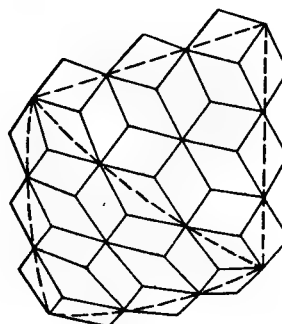
## Типичные растровые сетки для геодезических куполов



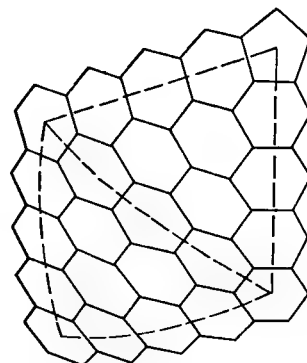
треугольник



полуромб

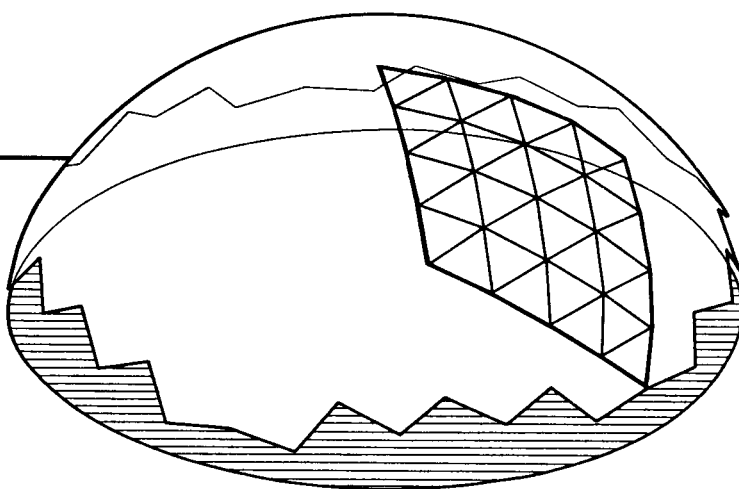
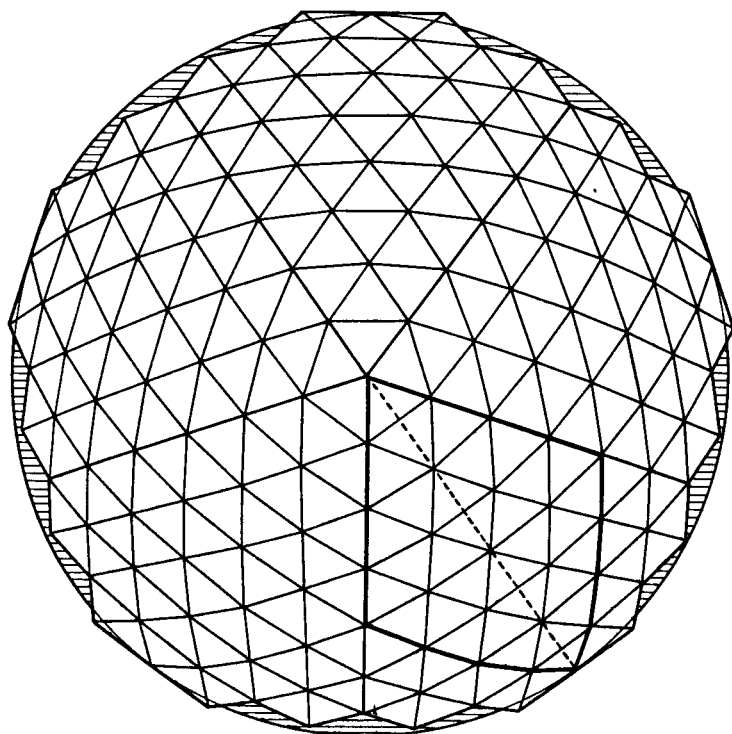
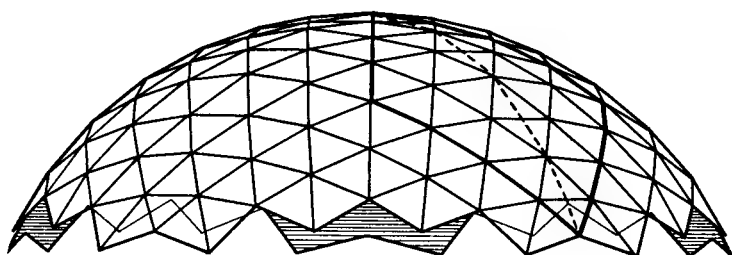


ромб



шестиугольник

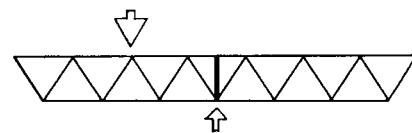
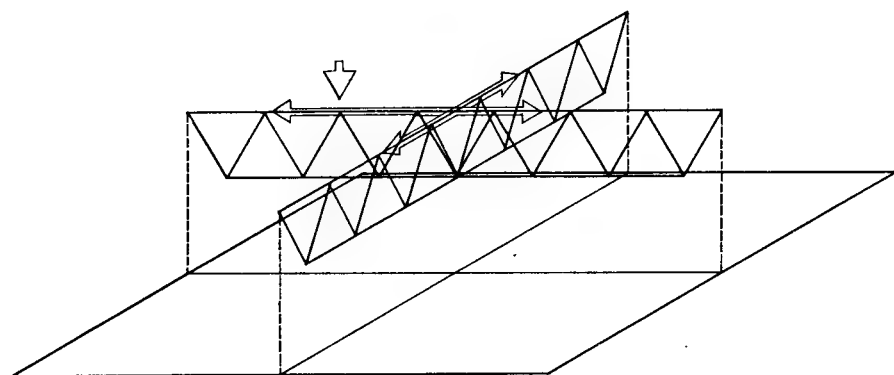
## ФАХВЕРКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



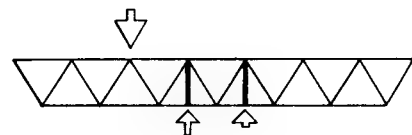
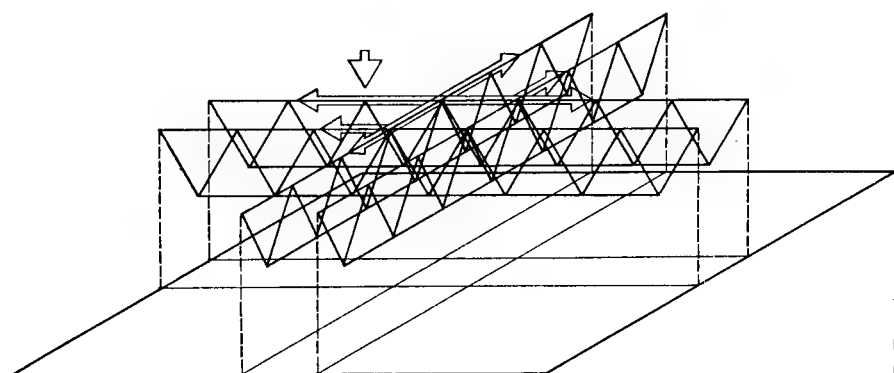
сферический икосаэдр с треугольным делением решетки

геодезический купол

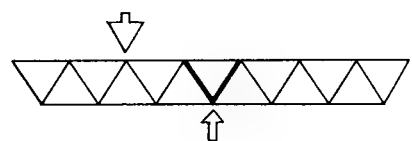
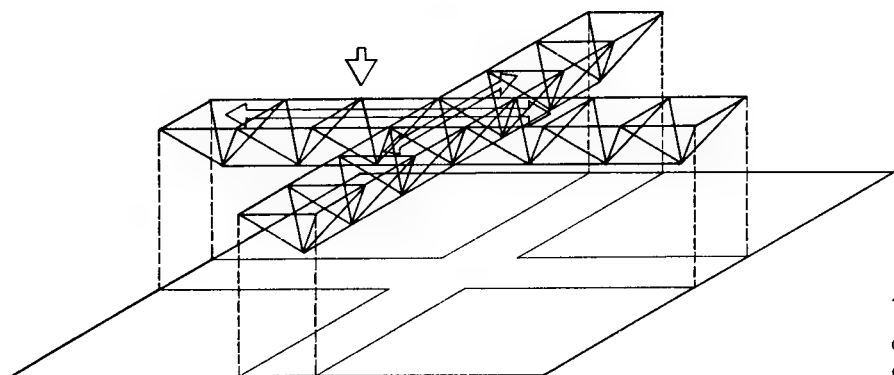
## НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФАХВЕРКА



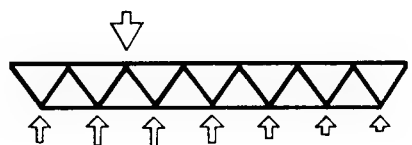
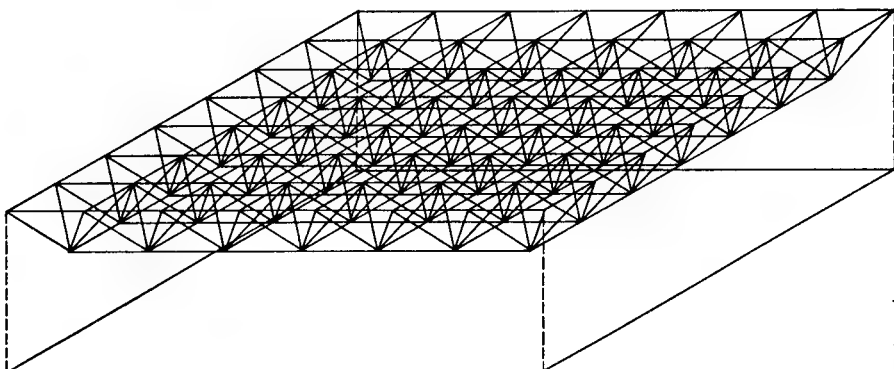
включение в работу не напрямую нагруженной решетчатой фермы



повышение эффективности с помощью добавления параллельных ферм

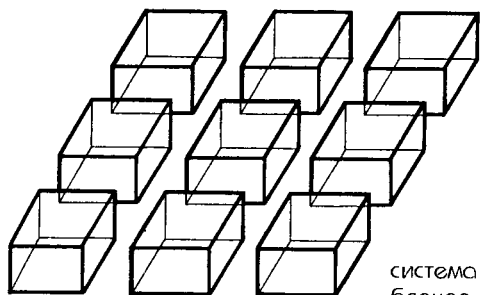


дальнейшее повышение эффективности с помощью объединения параллельных ферм

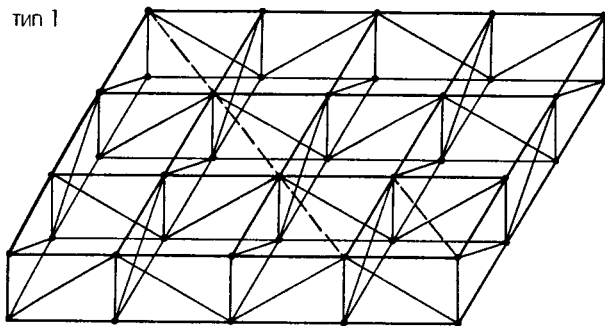


оптимальная эффективность благодаря сплошному заполнению по длине и ширине

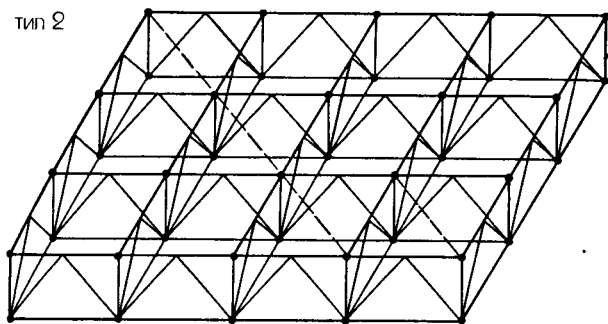
## ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПРИЗМ

система укладки  
блоковсистема с простым раскреплением  
вертикальных сторон призм

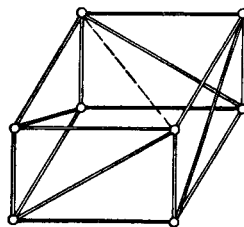
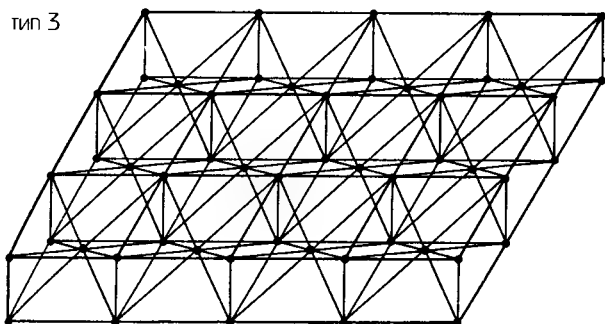
тип 1

система с двойным раскреплением  
вертикальных сторон призм

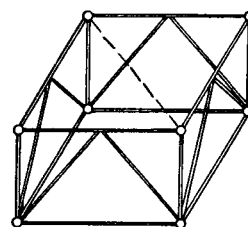
тип 2

система с перекрестным раскреплением  
в виде диагональных раскосов

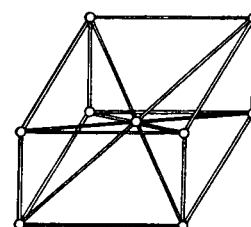
тип 3



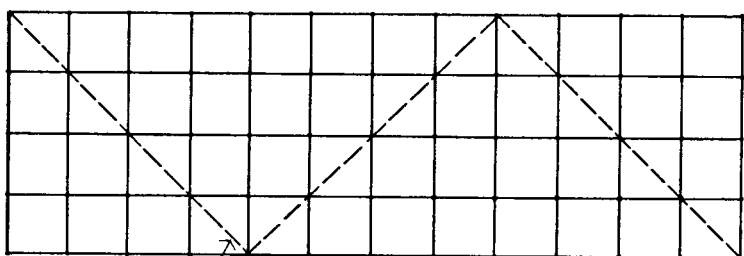
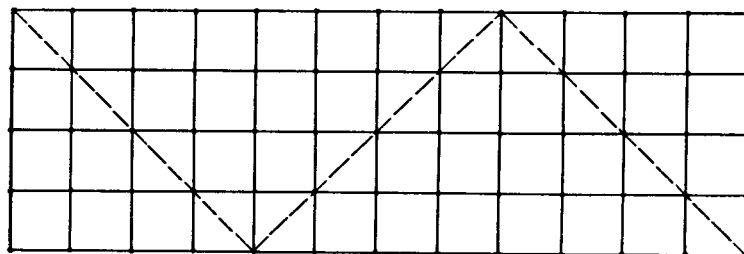
тип 1



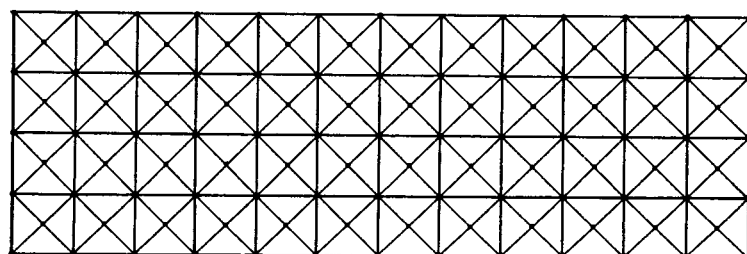
тип 2



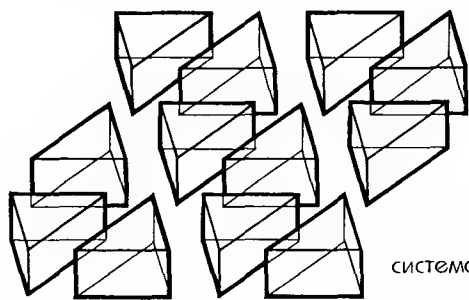
тип 3

Простран-  
ственные  
элементы

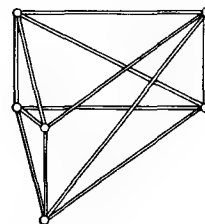
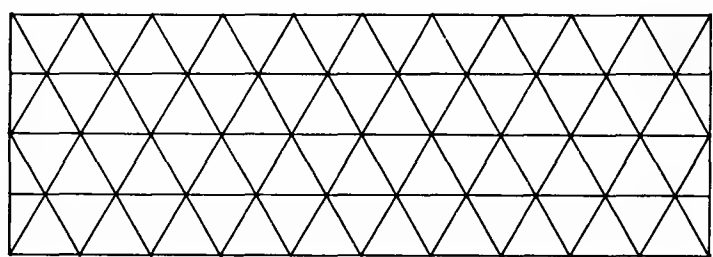
боковое крепление



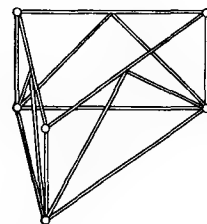
## ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПРИЗМ



система укладки блоков



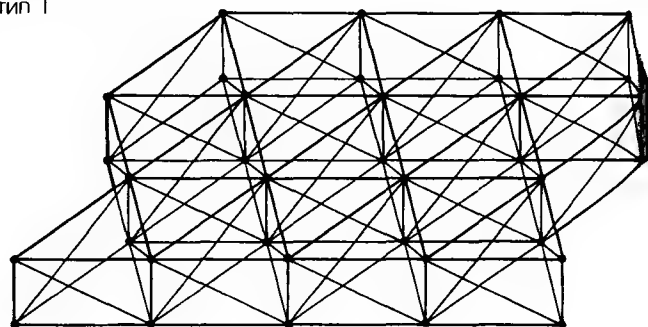
тип 1



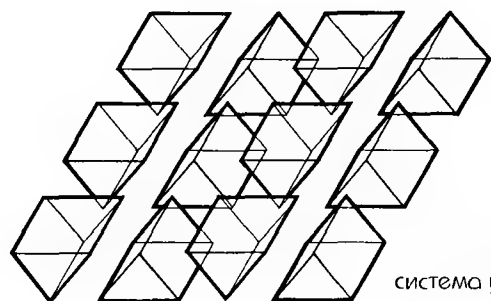
тип 2 пространственные элементы

система с простым креплением прямоугольных сторон призм

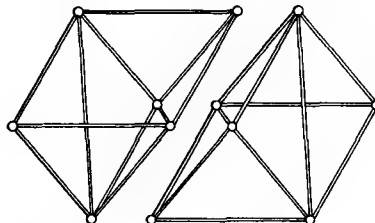
тип 1



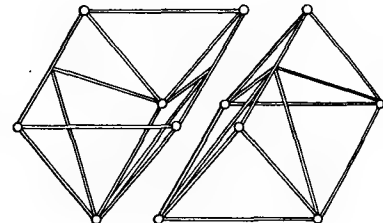
## ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПРИЗМ



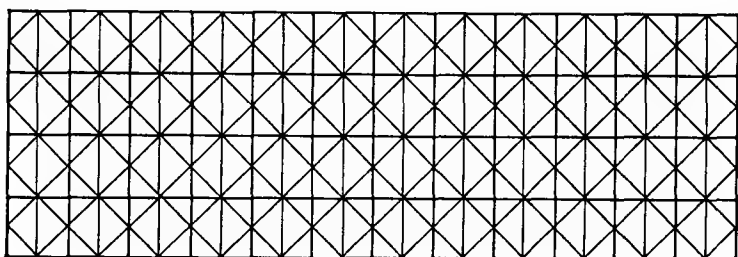
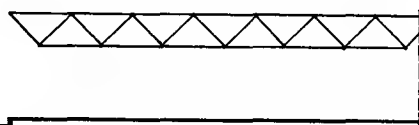
система укладки элементов



тип 1

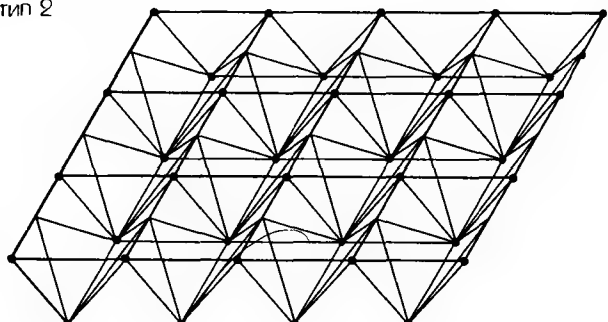


тип 2 пространственные элементы



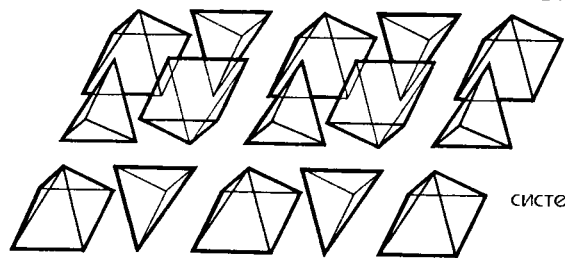
система с двойным креплением прямоугольных сторон призм

тип 2

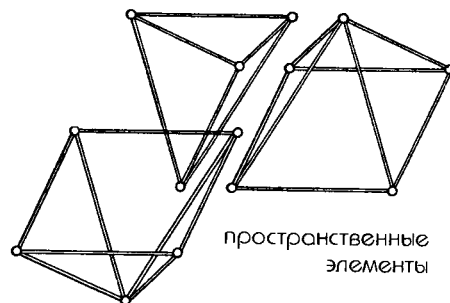
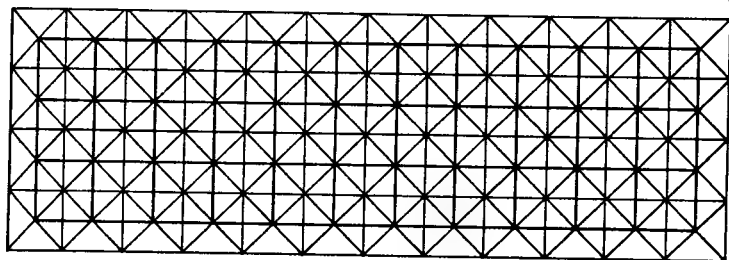
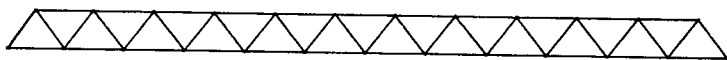
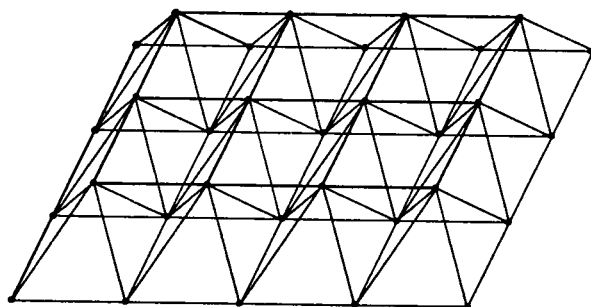




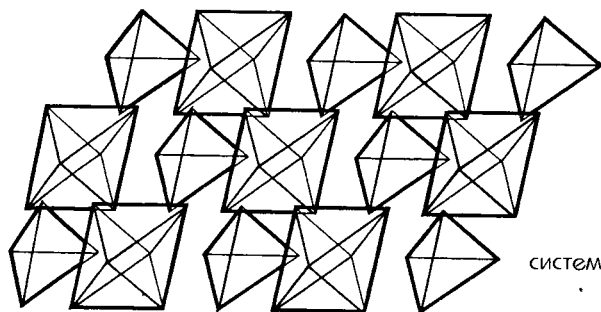
ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ТЕТРАЭДРОВ (ЧЕТЫРЕХГРАННИКОВ)  
И ПОЛУОКТАЭДРОВ (ВОСЬМИГРАННИКОВ)



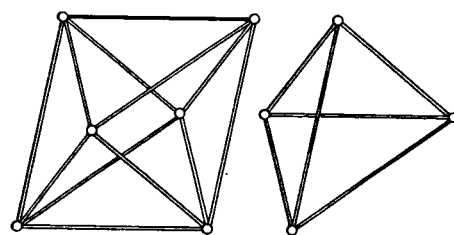
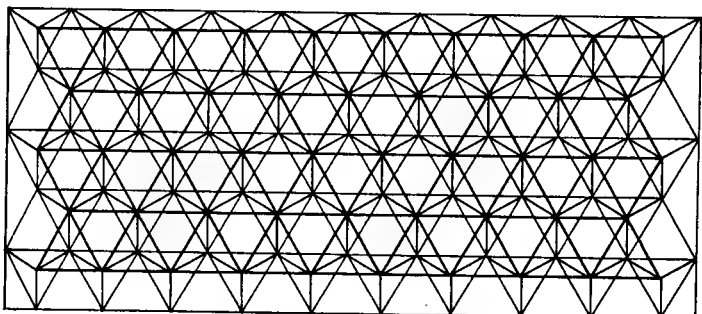
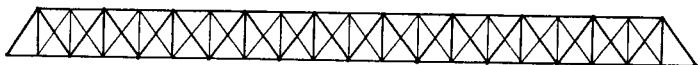
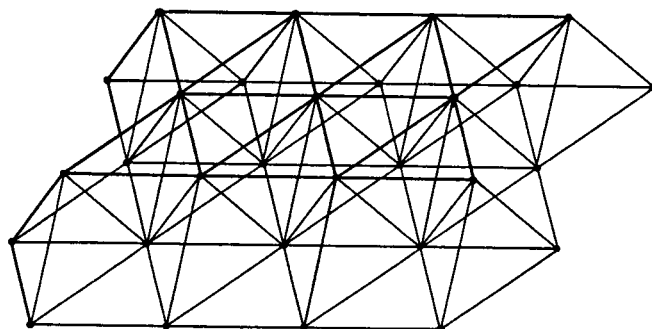
система укладки элементов

пространственные  
элементы

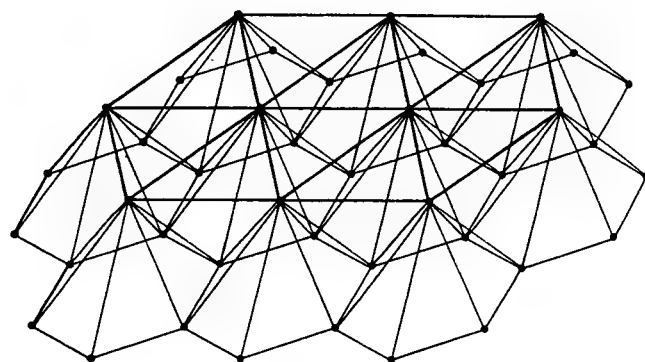
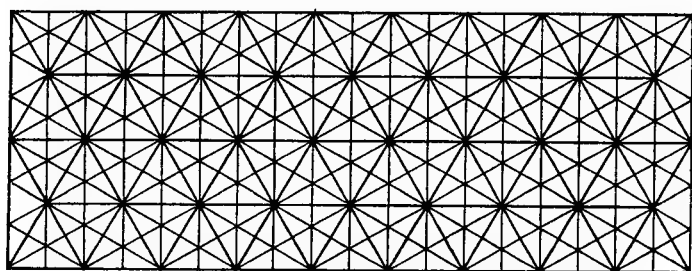
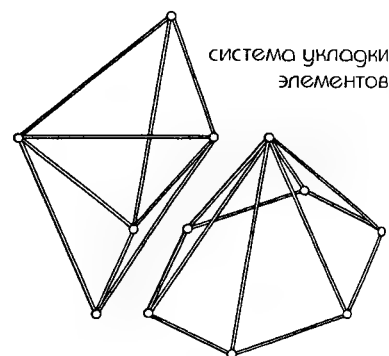
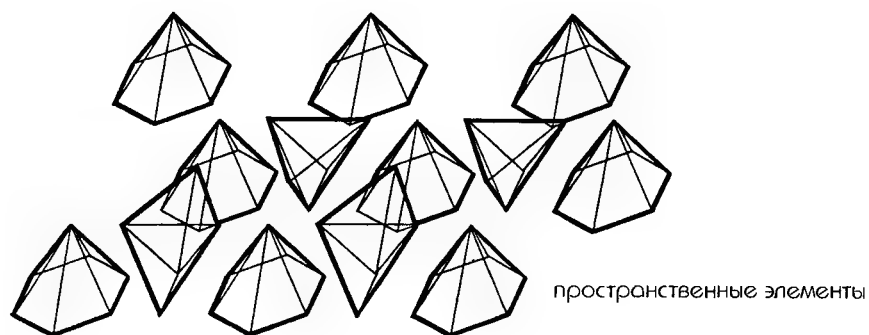
ПЛОСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ТЕТРАЭДРОВ И ОКТАЭДРОВ



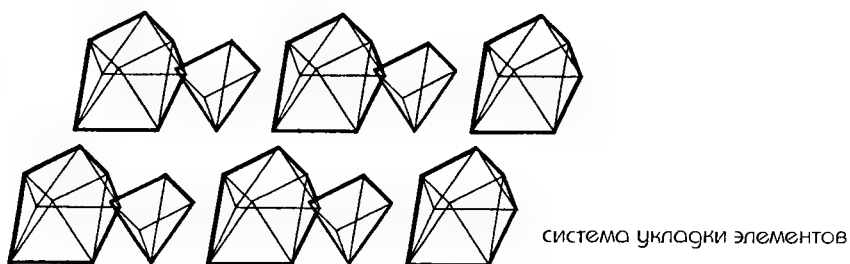
система укладки элементов

пространственные  
элементы

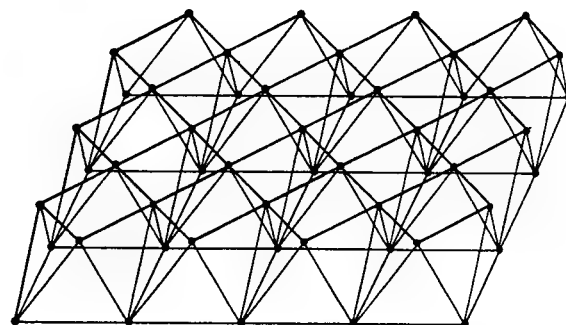
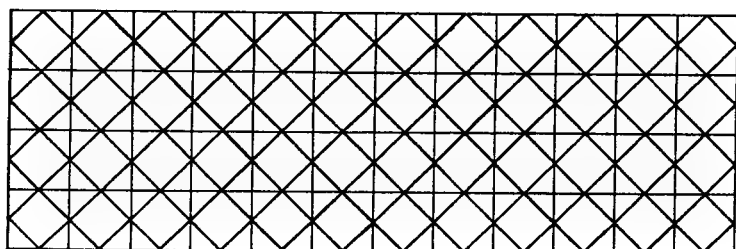
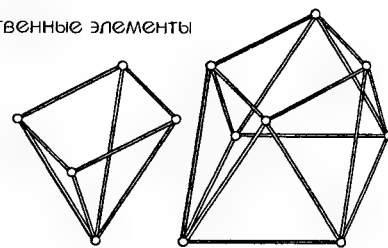
## ПЛОСКАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ НА ОСНОВЕ ШЕСТИГРАННОЙ ПИРАМИДЫ



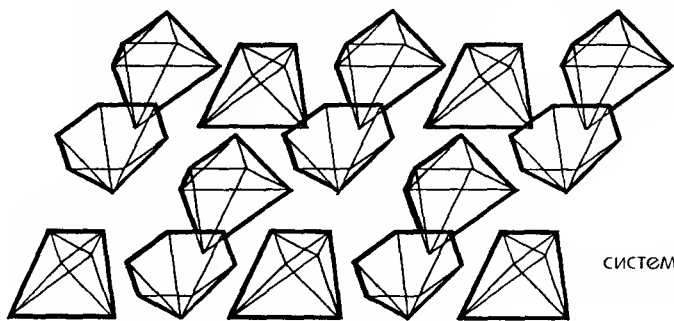
## ПЛОСКАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ИЗ ДВУХ РАЗВЕРНУТЫХ КВАДРАТНЫХ МОДУЛЕЙ



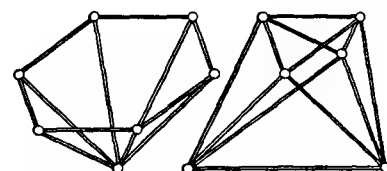
пространственные элементы



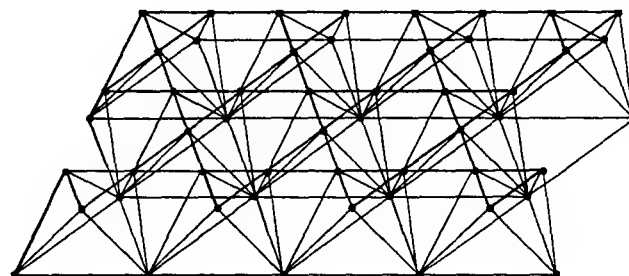
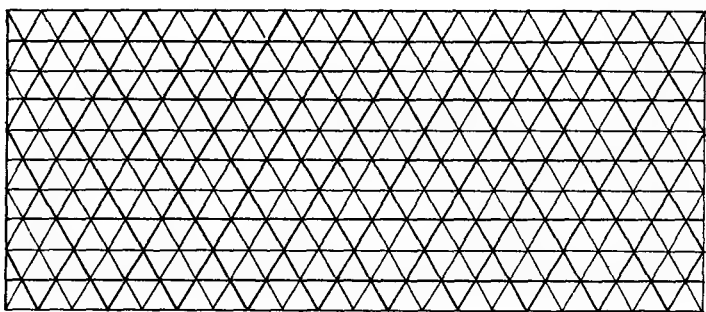
## ПЛОСКИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ФАХВЕРК С ПЕРЕВЕРНУТЫМИ ШЕСТИГРАННЫМИ ПИРАМИДАМИ



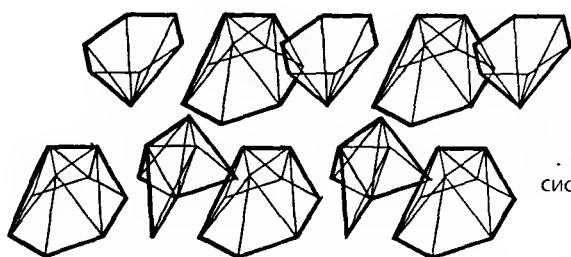
система укладки элементов



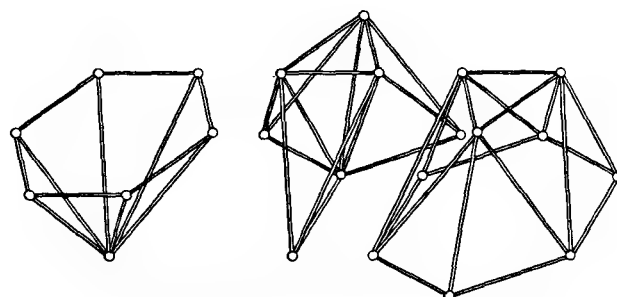
пространственные элементы



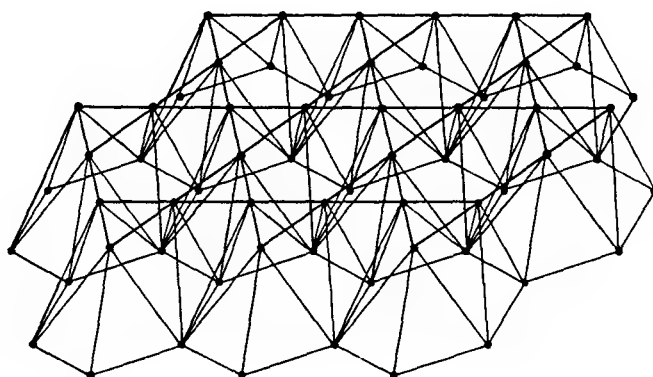
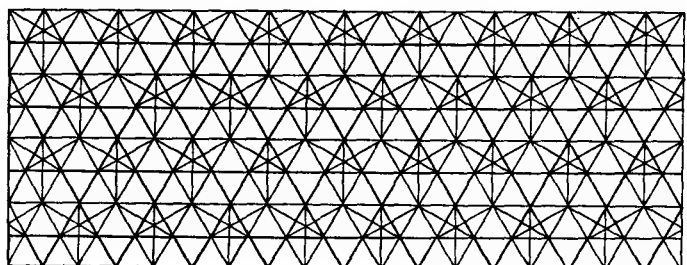
## ПЛОСКИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ФАХВЕРК С ДВУМЯ РАЗЛИЧНЫМИ ШЕСТИУГОЛЬНЫМИ МОДУЛЯМИ



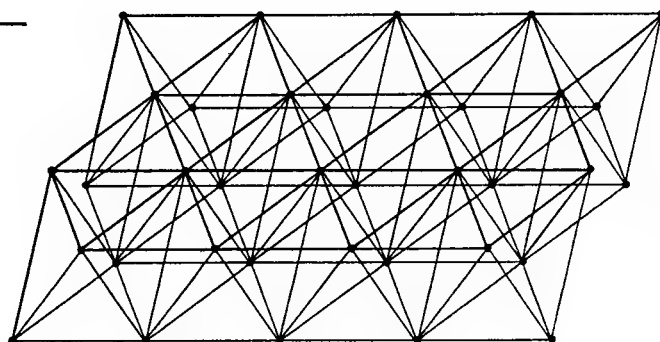
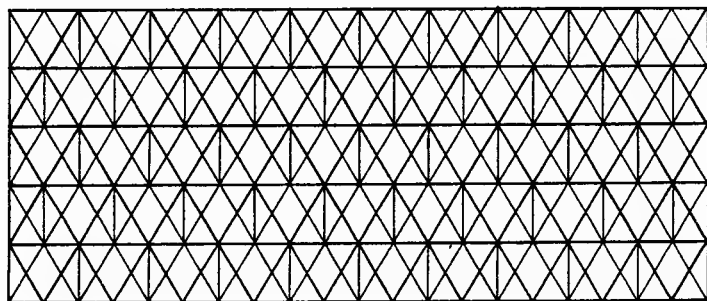
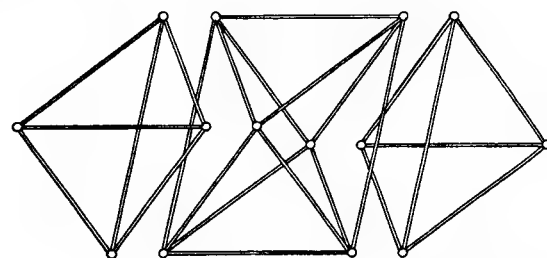
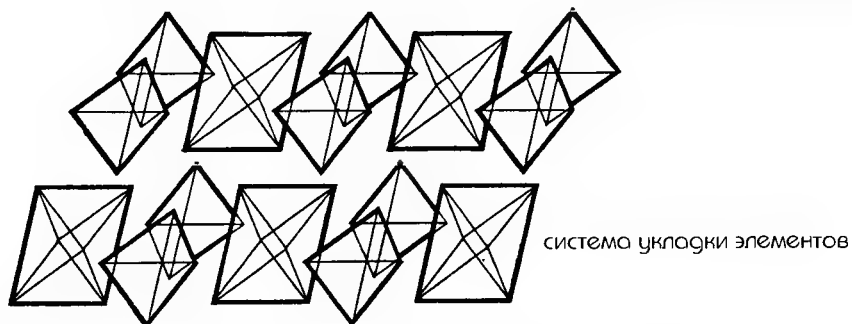
система укладки элементов



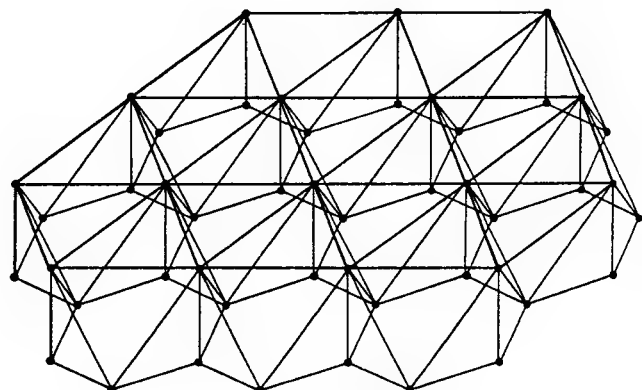
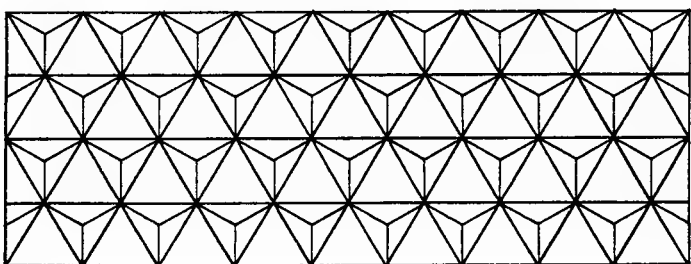
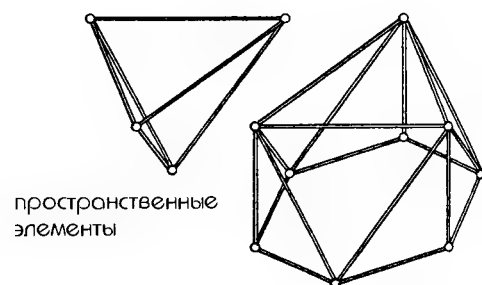
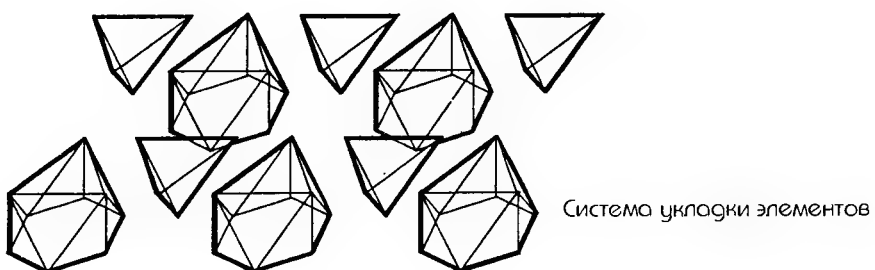
пространственные элементы



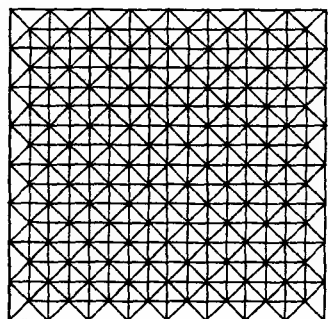
## ПЛОСКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СИСТЕМА ИЗ ДВУХ НАПРАВЛЕННЫХ НАВСТРЕЧУ ДРУГ ДРУГУ ТРЕУГОЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ



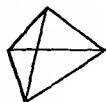
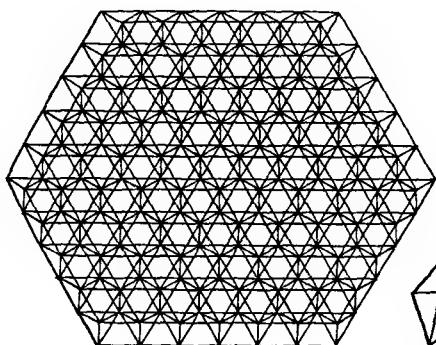
## ПЛОСКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РЕШЕТКА ИЗ ШЕСТИУГОЛЬНЫХ И ТРЕУГОЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ



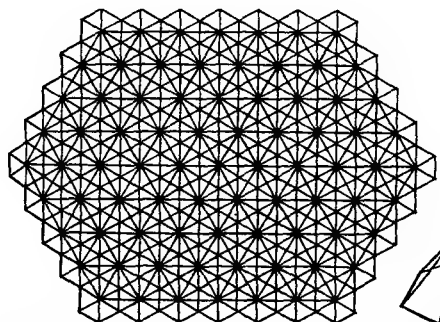
# ПЛОСКИЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ



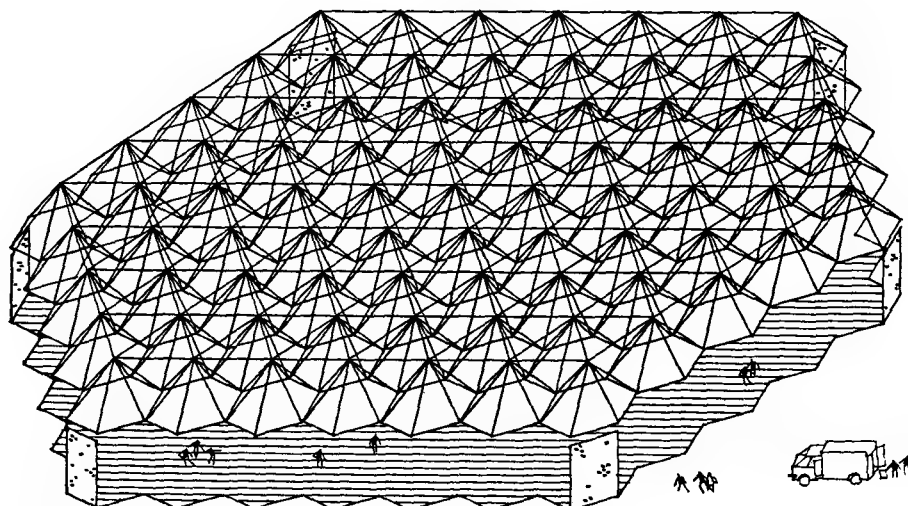
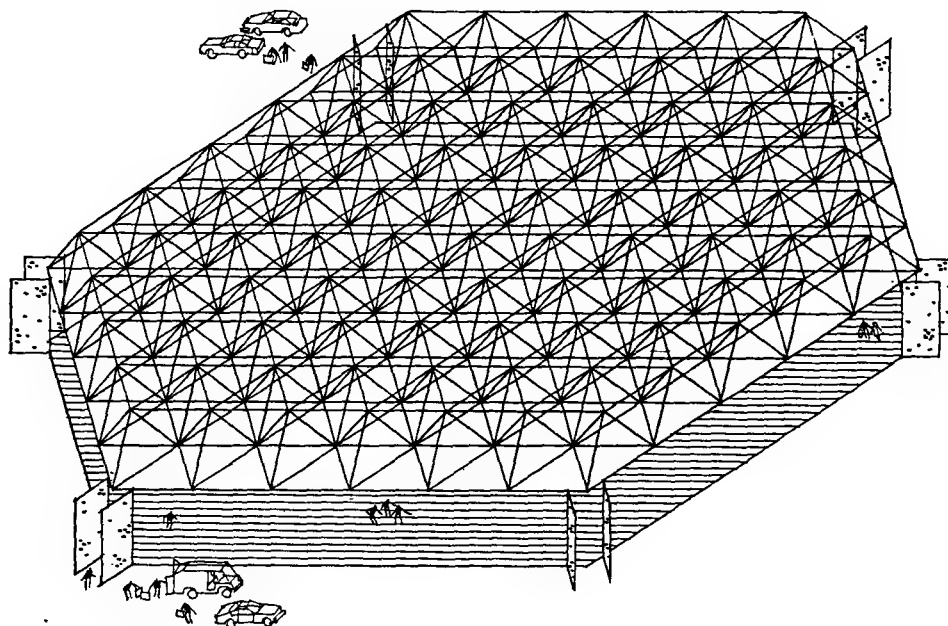
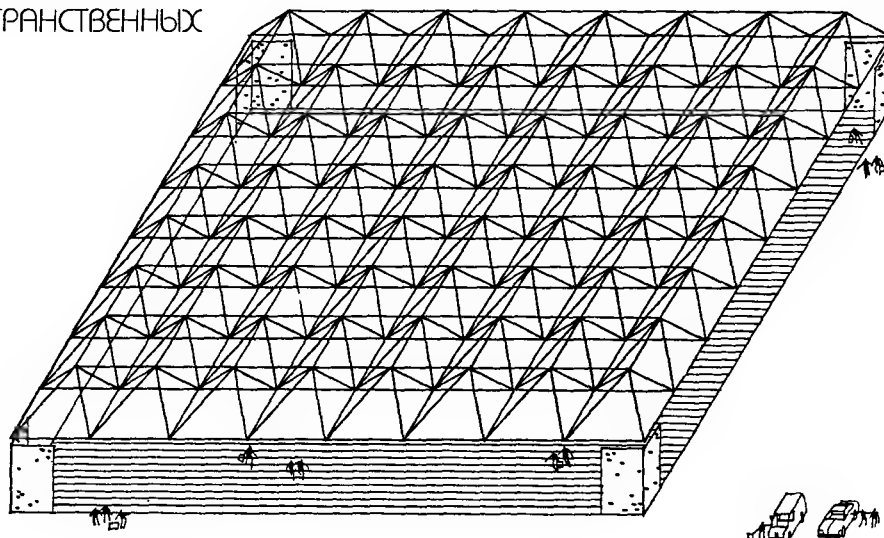
Пространственный модуль в виде  
полуоктаэдра на квадратном растре



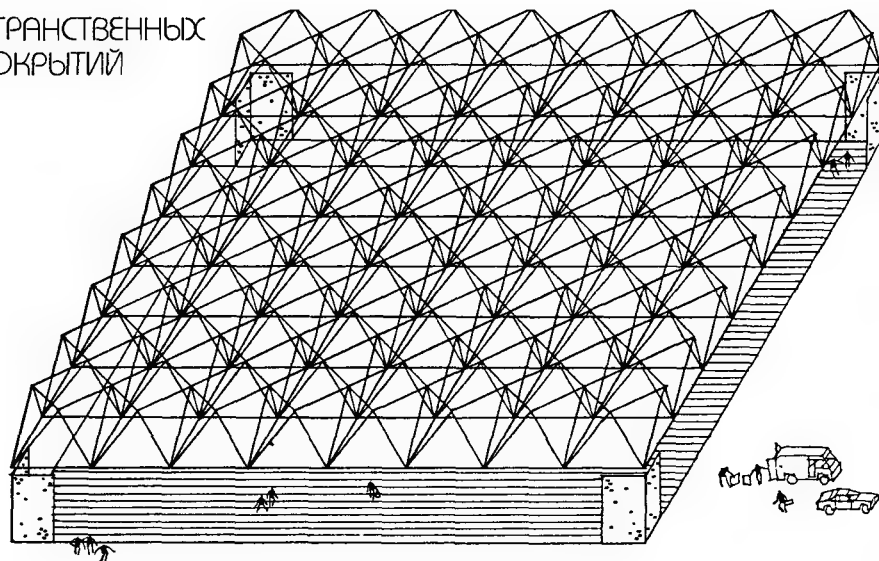
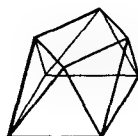
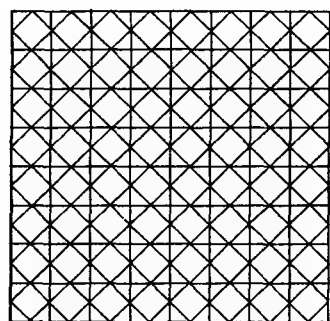
Пространственный модуль в виде  
тетраэдра на треугольном растре



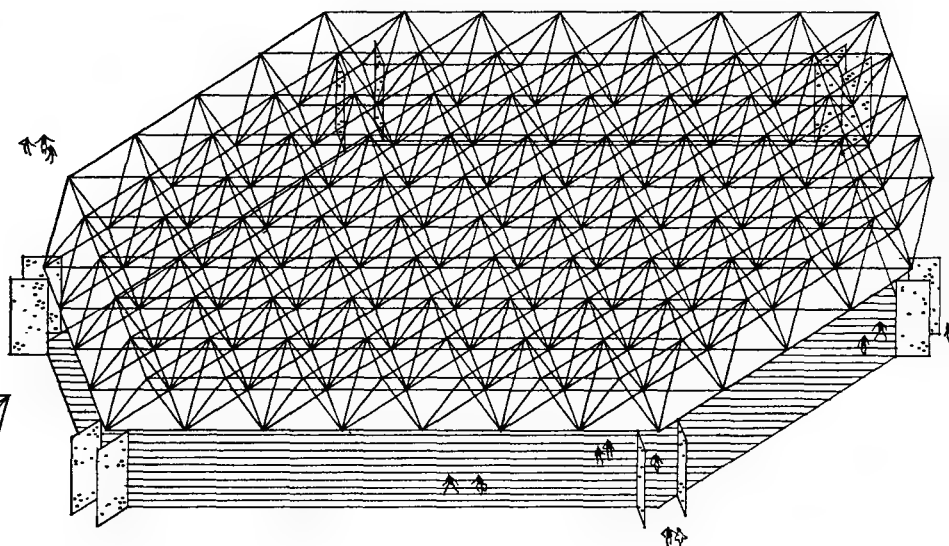
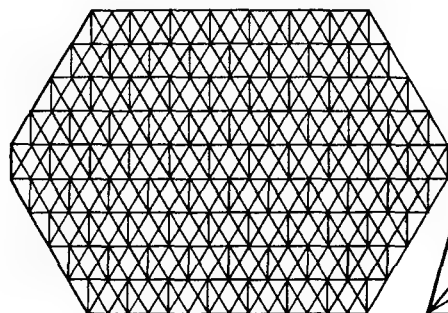
Пространственный модуль в виде шести-  
гранной пирамиды на сотовом растре



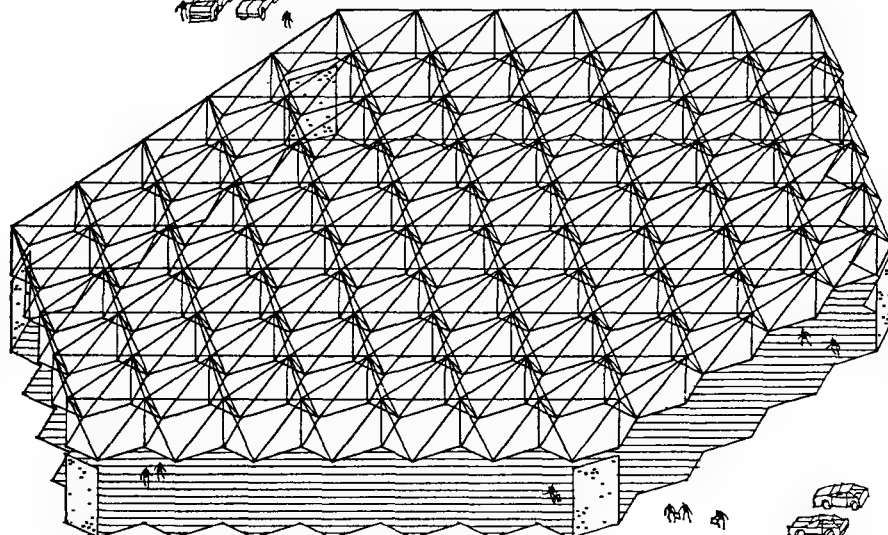
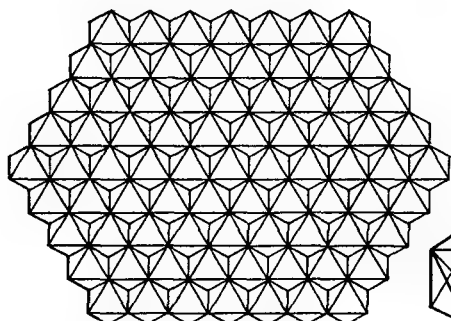
## ПЛОСКИЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ



Пространственный модуль в виде двух квадратных растров под углом поворота  $45^\circ$

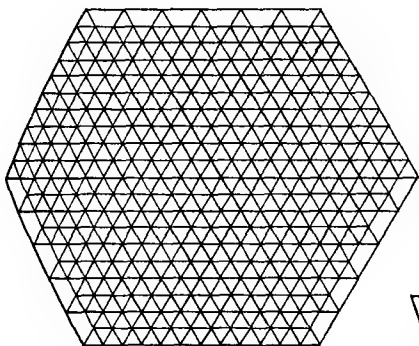


Пространственный модуль в виде двух направленных навстречу друг другу треугольных растров

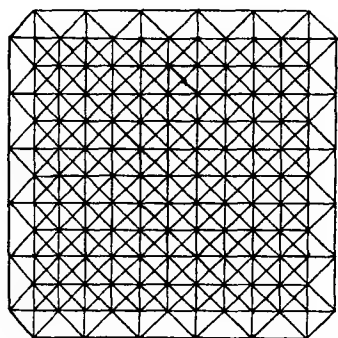


Пространственный модуль в виде треугольного раstra над шестиугольным растром

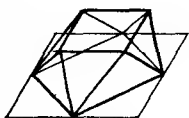
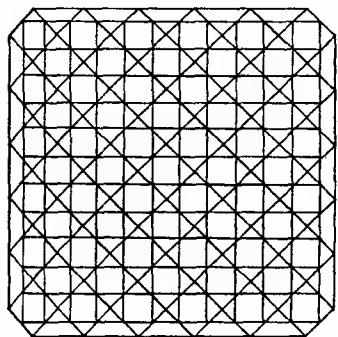
ПЛОСКИЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
ФАХВЕРКОВ/ОСОБЫЕ ФОРМЫ ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ  
ПОКРЫТИЙ



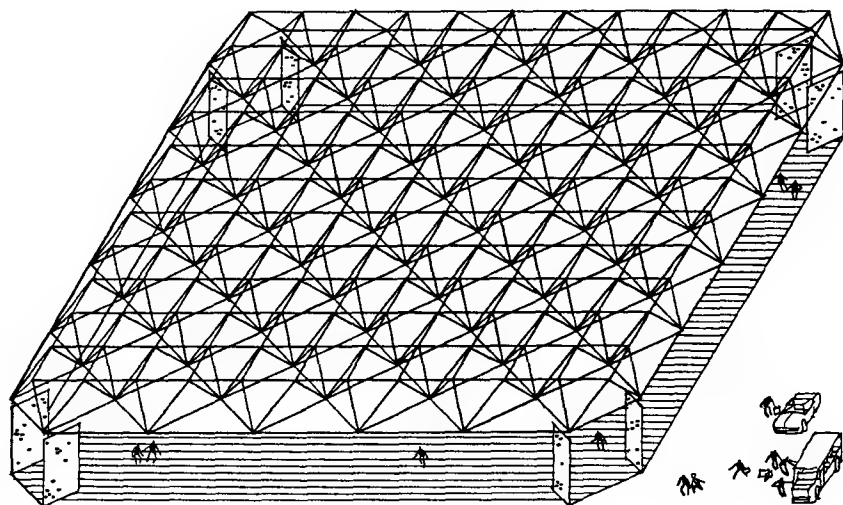
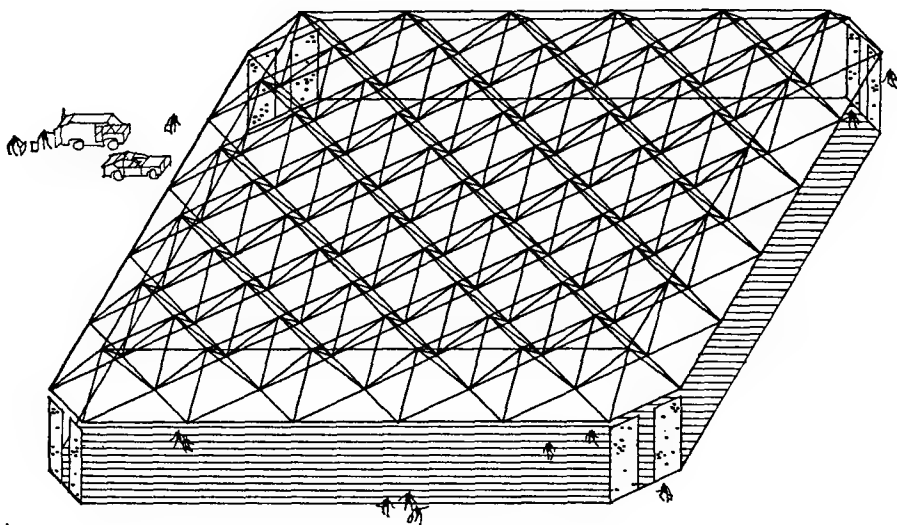
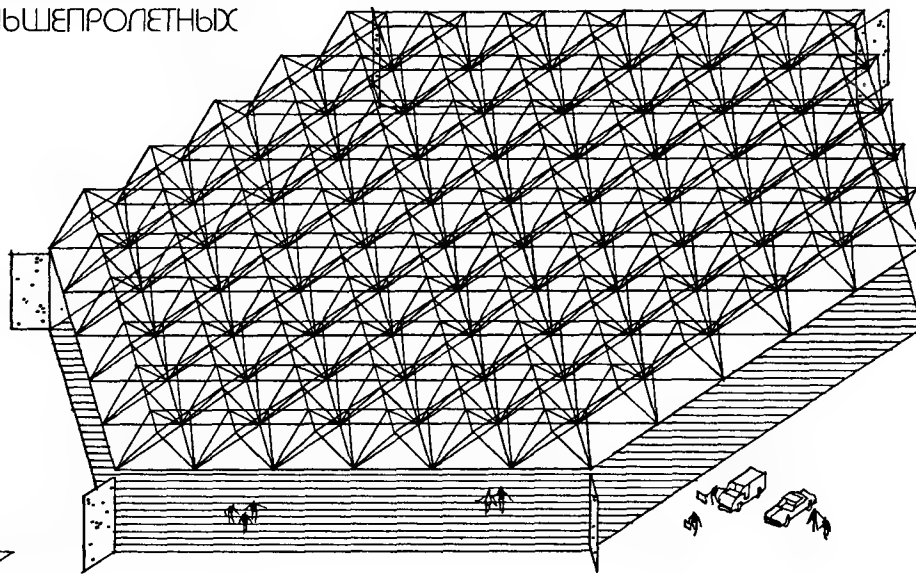
Пространственный модуль в виде трех-шести-  
угольных растров над треугольным растром



Пространственный модуль в виде  
полукотоэдра, вписанного под углом  
в квадратный растр

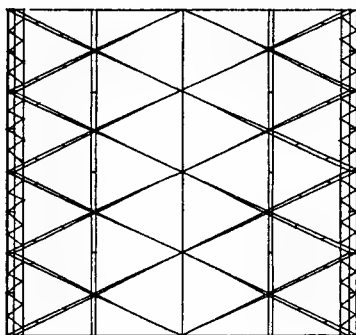


Пространственный модуль в виде полукубоокта-  
эдра, вписанного под углом в квадратный растр

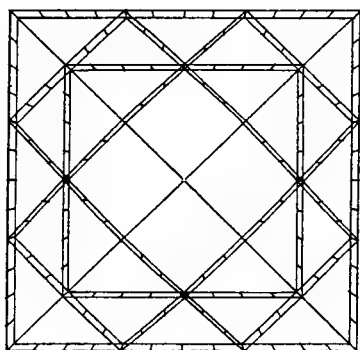




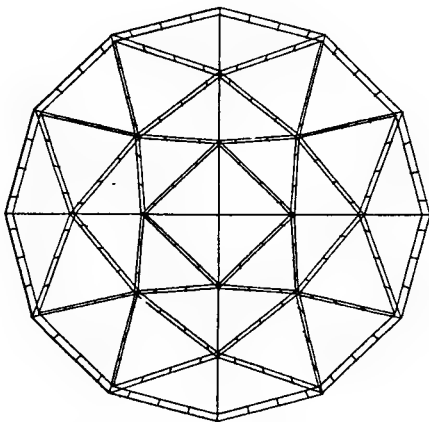
## ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ АРОК ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ



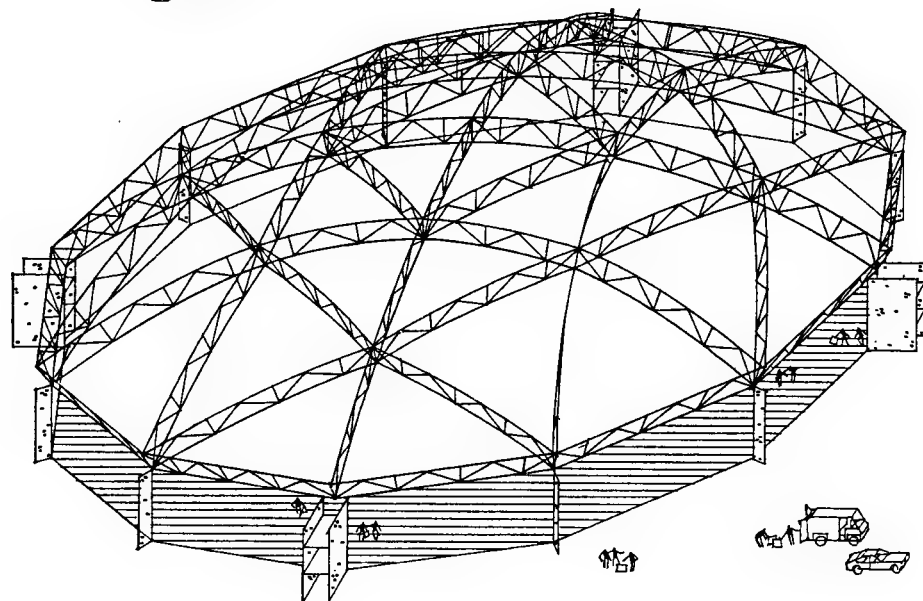
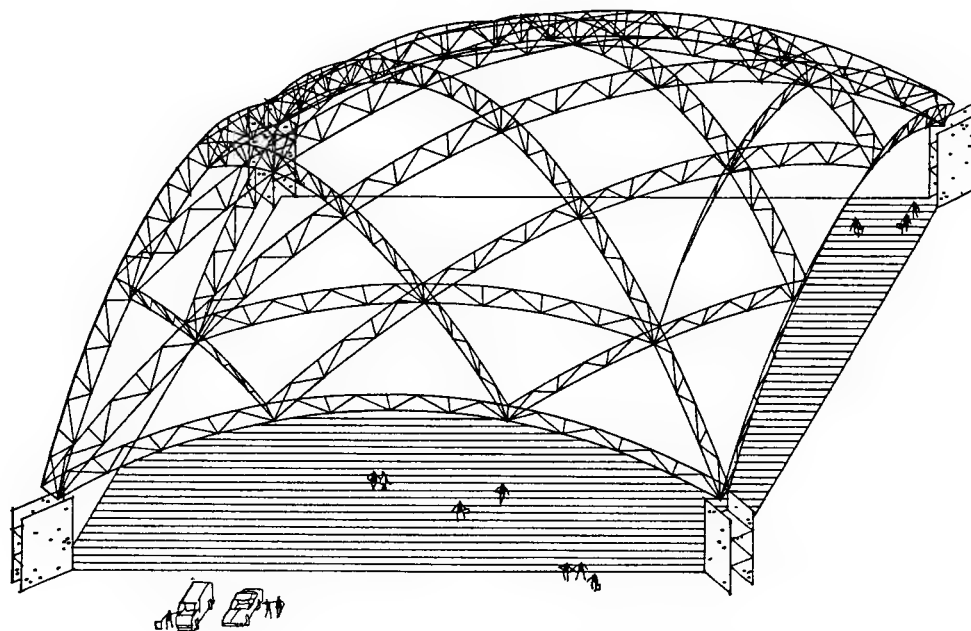
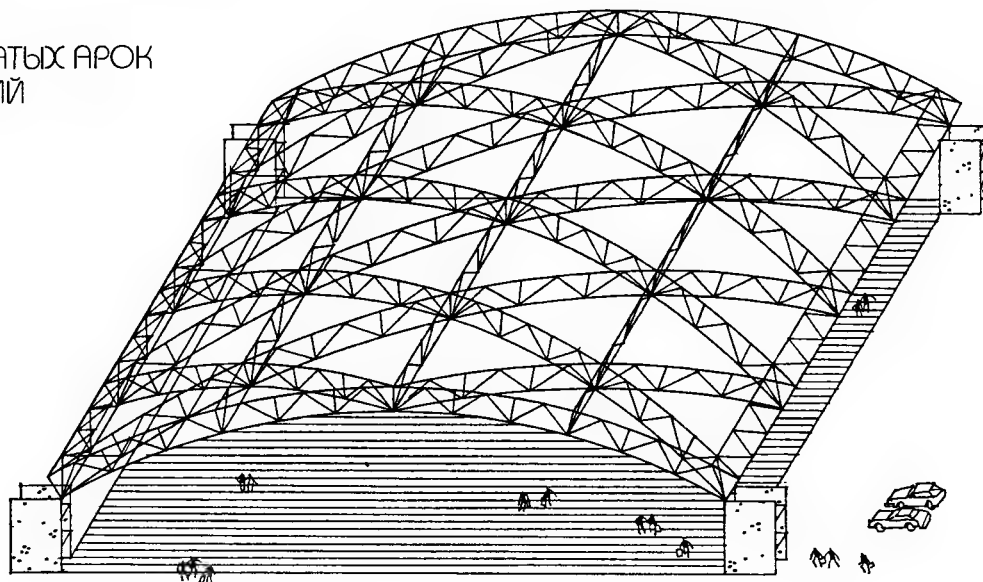
Растр под углом  $60^\circ$  для цилиндрической формы



Растр под углом  $45^\circ$  для синклатической формы передачи

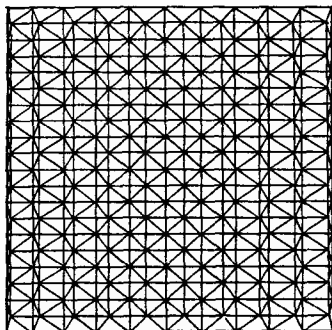


Треугольный растр для сферической формы

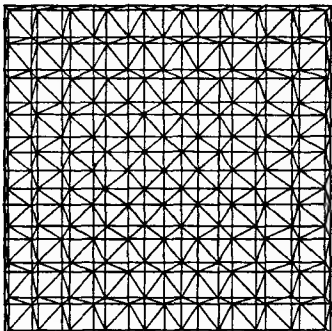




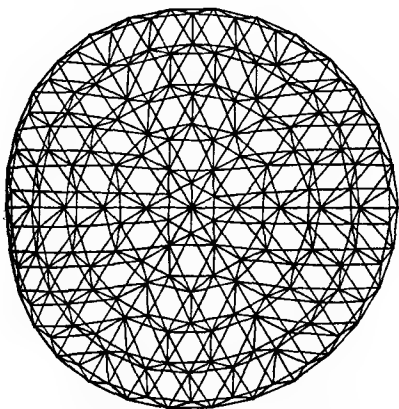
ИЗОГНУТЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
ФАХВЕРКИ (СТЕРЖНЕВЫЕ СТРУКТУРЫ)  
ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ



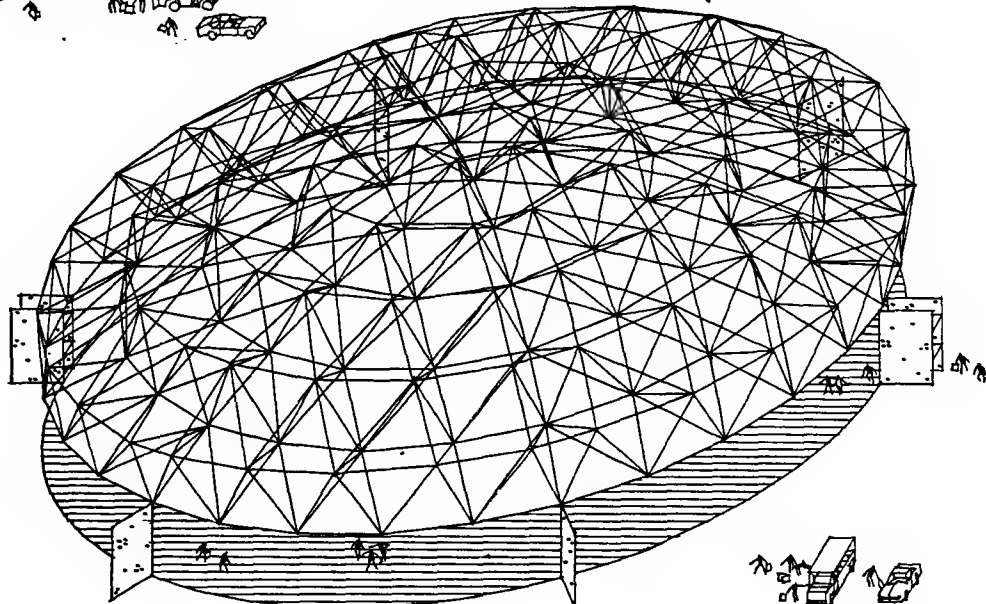
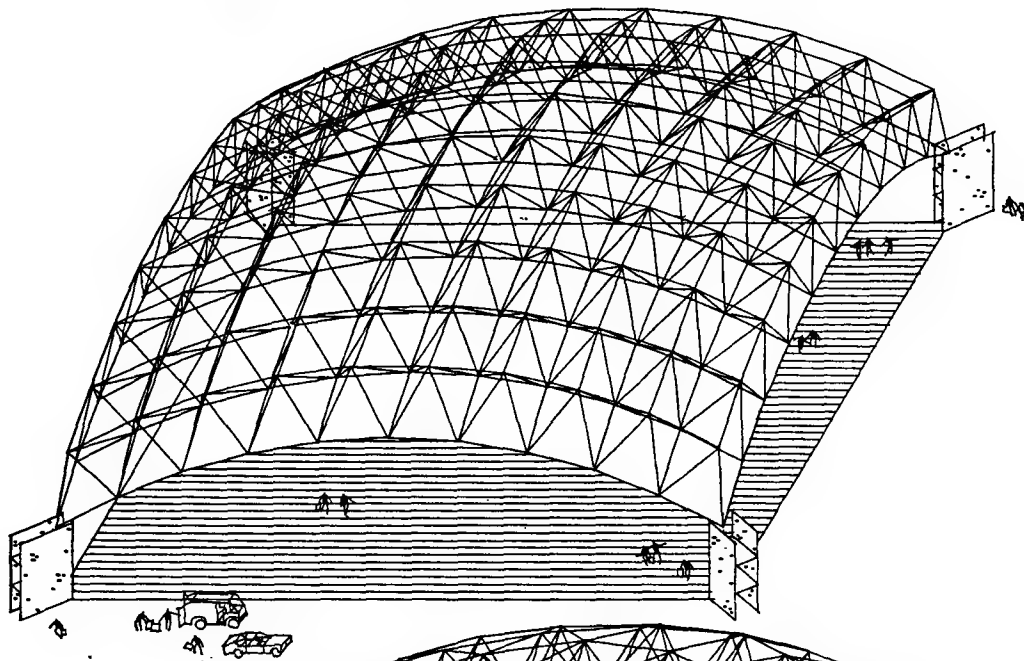
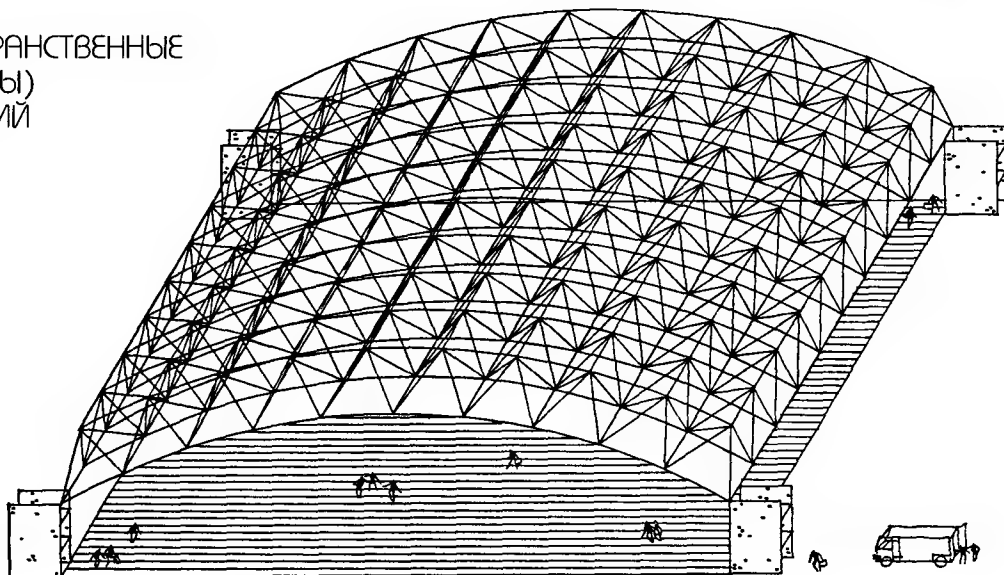
Пространственный модуль в виде  
полуоктаэдра для цилиндриче-  
ской формы



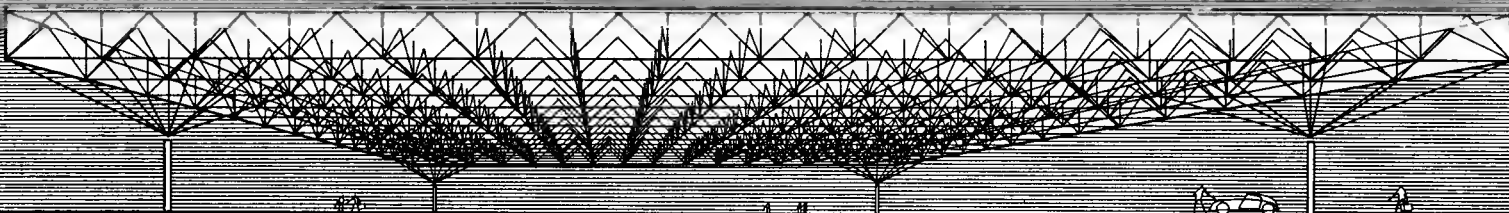
Пространственный модуль в виде  
полуоктаэдра для синклатиче-  
ской формы передачи



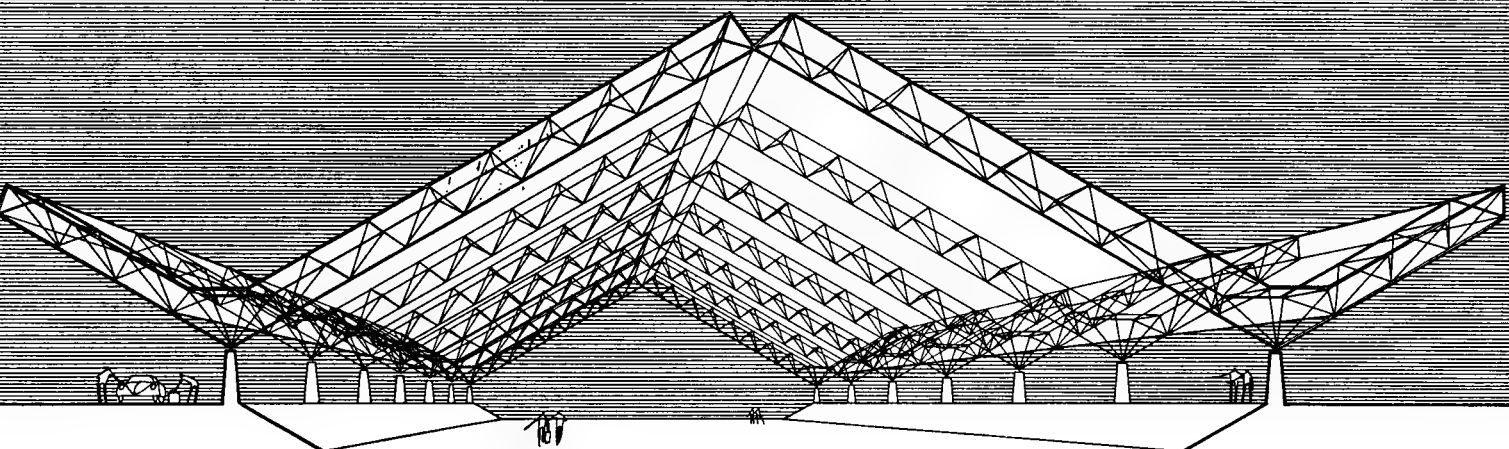
Пространственный модуль в виде  
тетраэдра для сферической формы



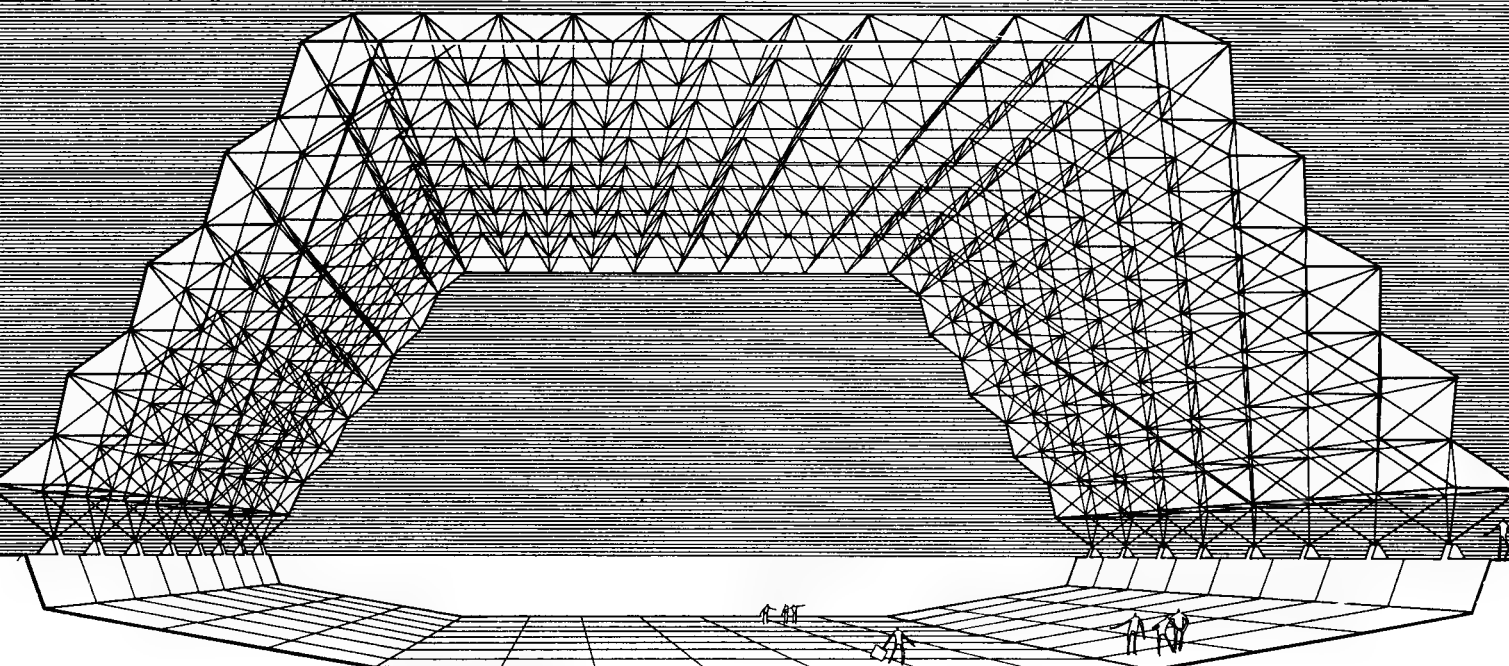
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ



Плоский пространственный фахверк для большепролетного покрытия

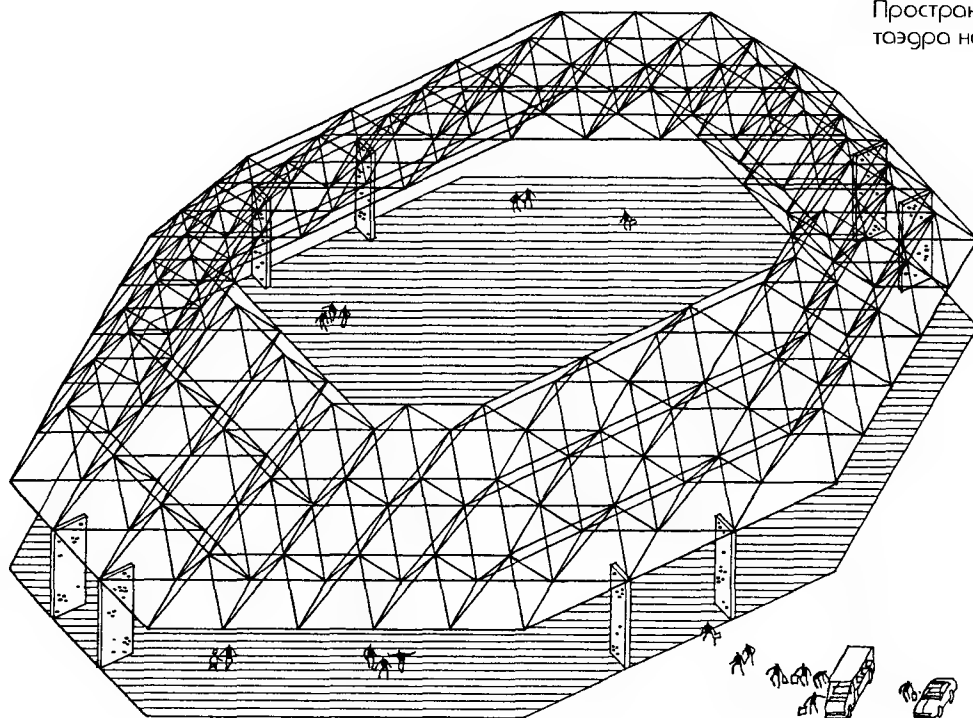


Линейный пространственный фахверк для трехшарнирных рам с консолями

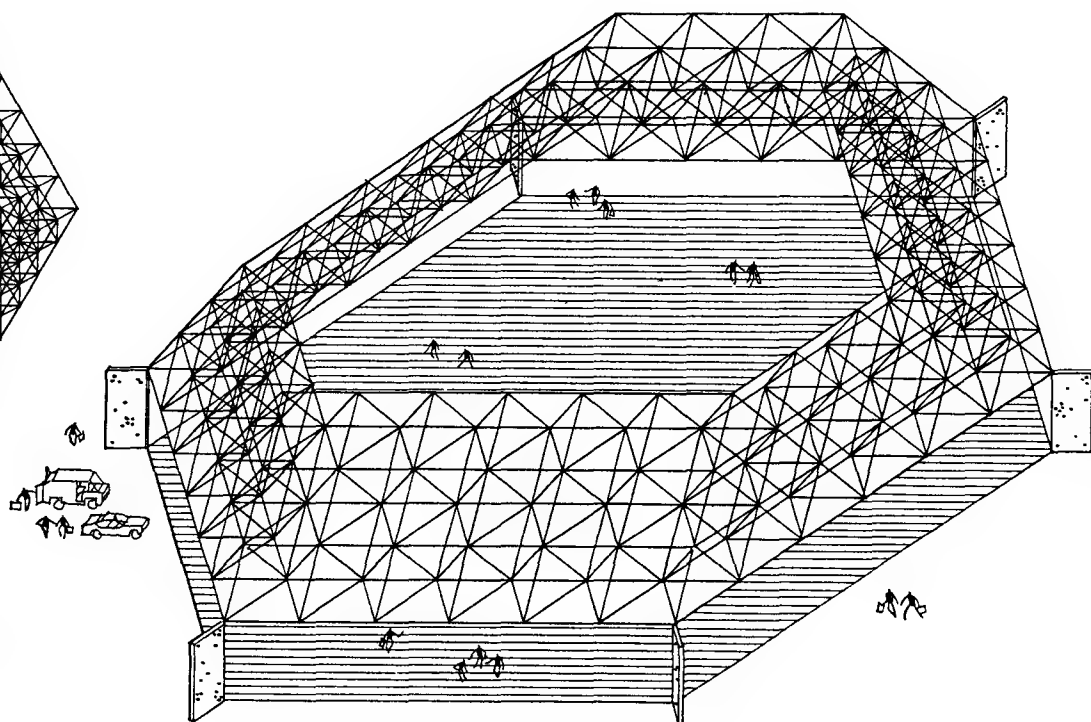
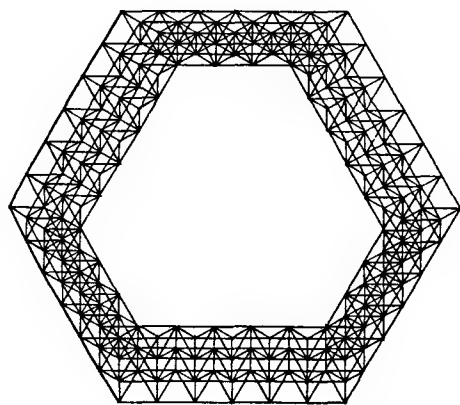
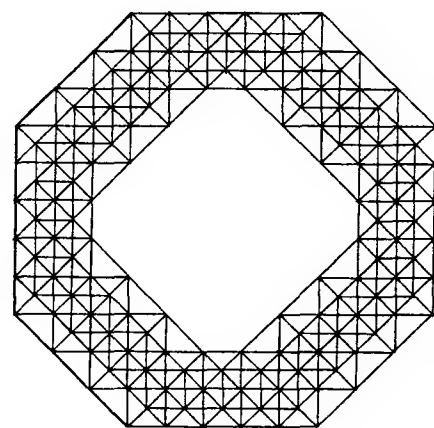


Плоский пространственный фахверк для верхнего и бокового перекрытия пространства

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФАХВЕРКОВ:  
ЗАМКНУТАЯ ПЯТИПОЯСНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕРЖНЕВАЯ КОНСТРУКЦИЯ



Пространственный модуль в виде полуок-  
таэдра на квадратном растре



Пространственный модуль в виде  
тетраэдра на треугольном растре

**АКТИВНЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ  
несущие системы**

**3**

С помощью прямых, фиксированных по длине линейных элементов можно дать определение поверхностям и создать благодаря их положению трехмерные связи в пространстве.

Прямые линейные элементы могут определять оси и размеры: длину, высоту и ширину. Благодаря этому свойству линейные элементы являются предпосылкой к геометрическому завершению трехмерного пространства.

Прямые линейные элементы из прочных материалов выполняют статические функции.

При прочности на сжатие они могут использоваться в качестве сжатых стержней, при прочности на растяжение – в качестве растянутых стержней. Если они, кроме того, обнаруживают значительную прочность на изгиб, то могут использоваться в качестве линейных балок. Линейные балки – это прямолинейные, прочные на изгиб строительные элементы, которые не только могут воспринимать силы, действующие в направлении оси стержня, но и благодаря внутренним срезывающим усилиям перераспределять силы, действующие перпендикулярно этой оси, и отводить их в направлении оси. Линейные балки – это основные элементы несущих систем, активных по сечению.

Прототипом несущих систем, активных по сечению, является линейная балка на двух опорах.

Материей своего поперечного сечения она разворачивает направление действующей силы на  $90^\circ$  и отводит ее на крайнюю опору.

Линейная балка на опорах является символом основополагающего конфликта направлений, который должен быть разрешен в проекте несущей конструкции: вертикальная динамика нагрузки – против горизонтальной динамики используемого пространства. Линейная балка принимает это элементарное столкновение закона природы и воли человека фронтально и всей массой.

Благодаря своему свойству отводить в сторону вертикальные нагрузки, сохраняя благоприятное горизонтальное ограничение для освоения трехмерного пространства, линейная балка является самым распространенным несущим элементом в строительстве.

С помощью жесткой связи линейные балки и опоры могут быть скомбинированы в единую взаимодействующую многоэлементную систему, в которой каждый элемент благодаря изгибу оси механизма сопротивления противостоит деформации: несущие системы, активные по сечению.

Кривизна центральной оси, т. е. изгиб, является признаком несущего эффекта активного сечения, частично вызванного поворотом линейного элемента при воздействии внешних сил, не лежащих с ним на одной линии.

Несущий механизм несущей системы, активной по сечению, складывается из взаимодействия сжимающих и растягивающих усилий в поперечном сечении балки в сочетании со срезывающим усилием: сопротивление изгибу. Вследствие прогиба активизируется внутренний крутящий момент, который сохраняет внешний крутящий момент в равновесии.

Поперечное сечение балки, т. е. ее количественное деление по отношению к нейтральной оси, является решающим для механизма сопротивления несущей системы, активной по сечению. Чем дальше масса отодвинута от нейтральной оси, тем больше сопротивление изгибу.

Из-за чрезвычайно разного деления напряжения на изгиб по длине балки и из-за вытекающих из этого различных требований к размерам поперечного сечения несущие системы, активные по сечению, могут выражать процесс внутренних напряжений на изгиб через изменяющуюся высоту своего поперечного сечения. Несущие системы, активные по сечению, могут поэтому быть наглядным выражением борьбы за равновесие между внешними и внутренними крутящими моментами.

Благодаря жесткой связи с опорами не только уменьшается вертикальный прогиб, но и создается механизм перераспределения горизонтальных сил. Постоянная жесткость в двух или трех измерениях является вторым призна-

ком несущей системы, активной по сечению.

Несущие системы полностью достигли механики непрерывного сопротивления в виде неразрезных балок, шарнирных рам, массивных рам, многопролетных и многоярусных рам. С помощью этих систем становится возможным получение больших пролетов и создание этажей без опор, не отказываясь от преимуществ геометрии прямоугольника.

Линейные балки, активные по сечению, расположенные по двум осям в виде сетки и соединенные жестко на изгиб, активизируют дополнительные механизмы сопротивления, которые способствуют уменьшению высоты конструкции и массы: перекрестные балки.

Уплотнение двухосного использования линейных балок приводит к линейной плите. Несущая плита

является плоским элементом, активным по сечению, который интегрирует самую многообразную механику изгиба и потому является самым высокопроизводительным в пределах определенного пролета.

Несущие системы, активные по сечению, имеют преимущественно прямоугольную форму в горизонтальной и вертикальной проекциях. Простота геометрии прямоугольника в решении статических и формообразующих проблем является преимуществом систем, активных по сечению, и причиной универсального использования их в строительстве.

Из-за превосходства формы прямоугольника несущие механизмы, активные по сечению, годятся в строительстве в качестве расположенных сверху, обуславливающих пространство систем в сочетании с элементами других систем. Поэтому несущие системы, активные

по сечению, являются именно той сверхструктурой, в которой могут использоваться все другие несущие механизмы.

В будущем развитие несущих систем, активных по сечению, не будет встречаться с недостатками в виде малого соотношения веса и ширины пролета не только из-за использования предельно напряженной техники, но и из-за того, что массивное поперечное сечение будет в возрастающей степени заменяться системами, активными по форме, вектору или поверхности.

Знание механики активных по сечению систем и многообразных процессов, которые приводятся в действие благодаря прогибу линейных элементов, а также их последствий должны стать для архитектора научной основой не только в планировании несущих каркасов, но и в проектировании в прямоугольной геометрии вообще.

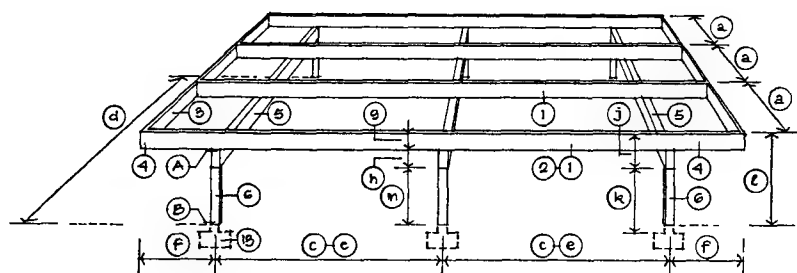
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ** НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ, АКТИВНЫЕ ПО СЕЧЕНИЮ. – это несущие конструкции из массивных, жестких линейных элементов, включая их уплотнение в виде плит, в которых перераспределение сил осуществляется путем мобилизации срезающих усилий

**УСИЛИЯ** Элементы системы испытывают при этом в первую очередь напряжение на изгиб, т. е. внутренние сжимающие, растягивающие и срезающие усилия: СИСТЕМЫ В СОСТОЯНИИ ИЗГИБА.

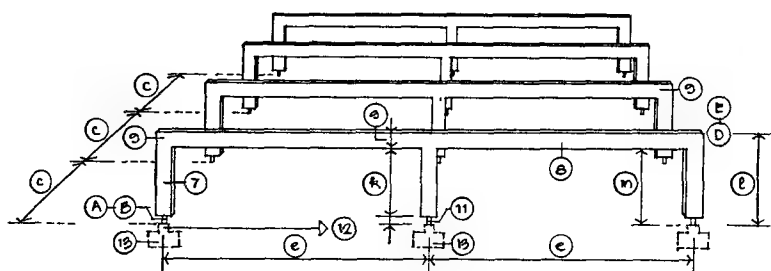
**ПРИЗНАКИ** Типичные структурные признаки: ПРОФИЛЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ и НЕРАЗРЫВНОСТЬ МАССЫ

## СОСТАВЛЯЮЩИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

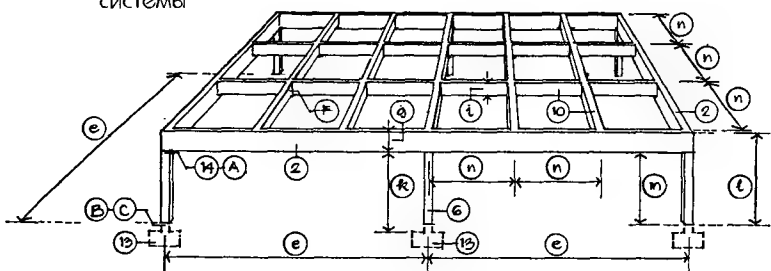
## 3.1 Системы балок



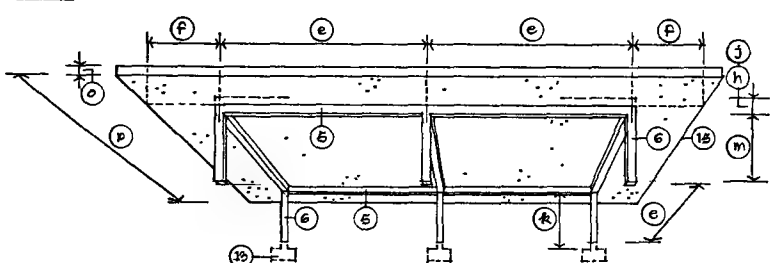
## 3.2 Рамные системы



## 3.3 Перекрестно-балочные системы



## 3.4 Системы из плит



## Элементы системы

- ① Балка (неразрезная балка)
- ② Рамбалка
- ③ Торцевая балка
- ④ Консоль
- ⑤ Прогон
- ⑥ Опора
- ⑦ Стойка рамы, опора
- ⑧ Ригель рамы
- ⑨ Угол рамы
- ⑩ Перекрестная балка
- ⑪ Шарнир на конце стойки (пятый шарнир)
- ⑫ Зотажка, стяжка
- ⑬ Фундамент, основание
- ⑭ Точка опирания
- ⑮ Край плиты
- ⑯
- ⑰

## Топографические точки системы

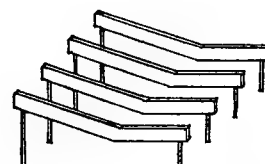
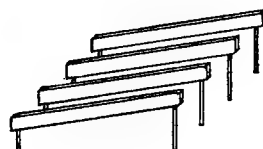
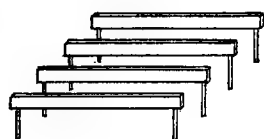
- Ⓐ Точка опоры
- Ⓑ Базис, точка опоры
- Ⓒ Точка защемления
- Ⓓ Угловая точка рамы
- Ⓔ Карнизная точка
- Ⓕ Точка пересечения балок
- Ⓖ
- Ⓗ

## Параметры системы

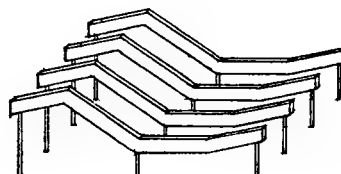
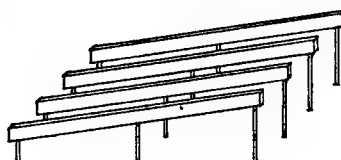
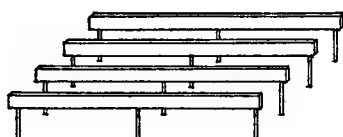
- Ⓐ Шаг балок
- Ⓑ Величина пролета балки, ширина панели
- Ⓒ Шаг рам
- Ⓓ Пролет прогона, нижний пояс
- Ⓔ Расстояние между опорами
- Ⓕ Длина консоли
- Ⓖ Конструктивная высота балки
- Ⓗ Конструктивная высота прогона
- Ⓙ Высота балочной решетки
- Ⓚ Общая высота балочной конструкции
- Ⓛ Высота опоры, длина стойки
- Ⓛ Высота карниза
- Ⓜ Высота в свету
- Ⓝ Размер балочной решетки
- Ⓞ Толщина плиты
- Ⓟ Ширина плиты (длина плиты)
- Ⓠ

## 3.1 СИСТЕМА БАЛОК

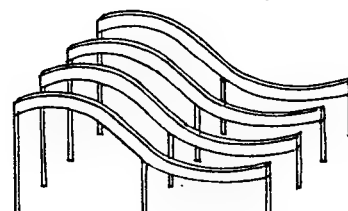
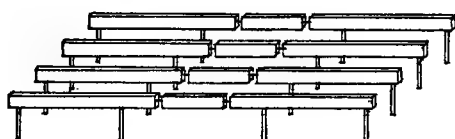
Однопролетные балки



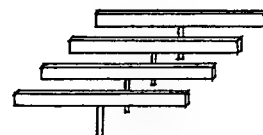
Нерезные балки



Шарнирные балки

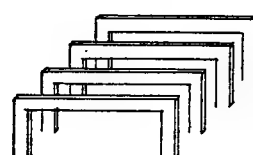
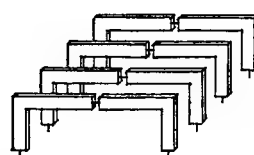
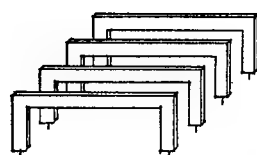


Консольные балки

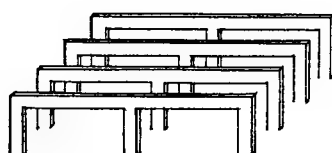
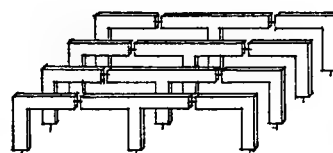
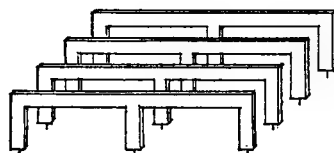


## 3.2 РАМНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

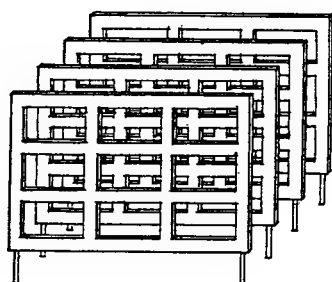
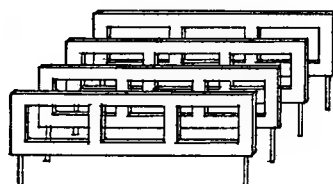
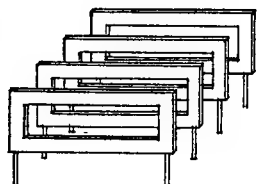
Однопролетные рамы



Многопролетные рамы



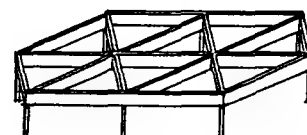
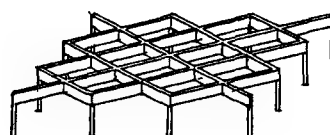
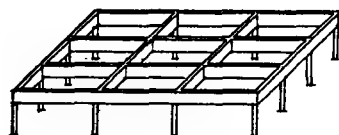
Одно- и многоэтажные рамы



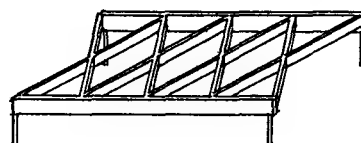
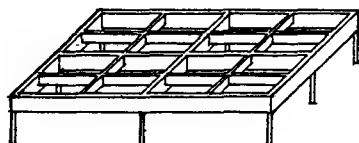


### 3.3 ПЕРЕКРЕСТНО-БАЛОЧНАЯ СИСТЕМА

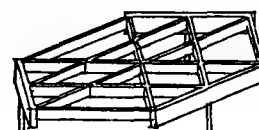
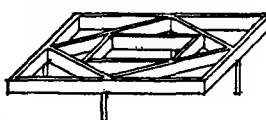
Однородные балочные  
решетки



Разновидности балочных  
решеток

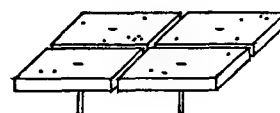
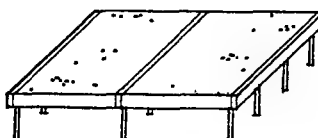
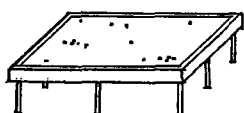


Центрические балочные  
решетки

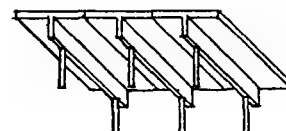
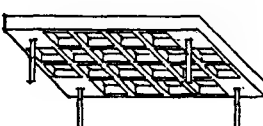
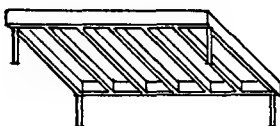


### 3.4 СИСТЕМЫ НЕСУЩИХ ПЛИТ

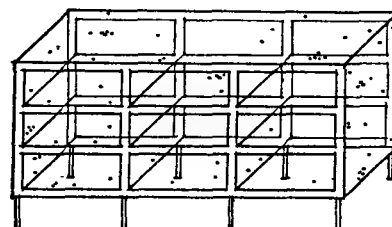
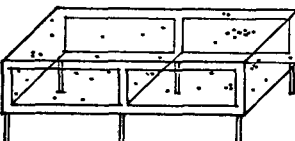
Сплошные плиты



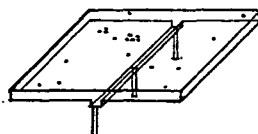
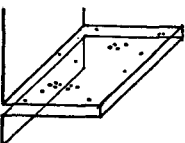
Рёбристые плиты



Рамы из плит



Консольные плиты



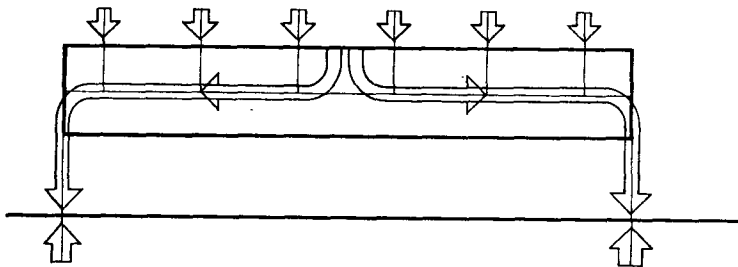
## ПРИМЕНЕНИЕ: НЕСУЩАЯ СИСТЕМА / СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ / ПРОЛЕТЫ

| Несущая система                           |     | Исходный строительный материал                           | Величина пролета в метрах |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|-------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------|---------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
|                                           |     |                                                          | 0                         | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |  |
| Балочные несущие конструкции              |     | древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон               |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           | 3.1 | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>напряженный бетон |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           |     | древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон               |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| 3.2                                       |     | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон       |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           |     | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон       |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           |     | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон       |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| несущие конструкции из перекрестных балок |     | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон       |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           | 3.3 | клееная древесина<br>металл (сталь)<br>железобетон       |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           |     | клееная древесина<br>железобетон                         |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| несущие конструкции из плит               |     | древесина (доски)<br>железобетон                         |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           | 3.4 | железобетон                                              |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                           |     | железобетон                                              |                           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |

Каждому типу несущей конструкции должно подходить специфическое состояние напряжения его несущих элементов. Отсю-

да в проекте получаются неизбежные связи в выборе исходного материала и ширины пролетов.

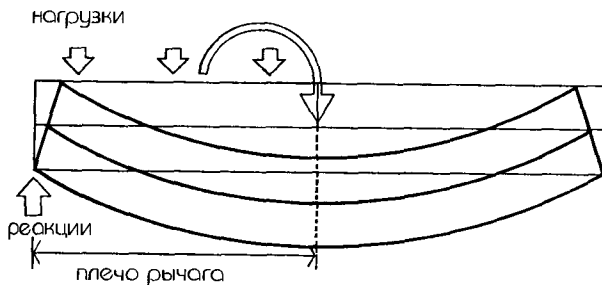
## Определение несущих систем, активных по сечению



Система перераспределения сил

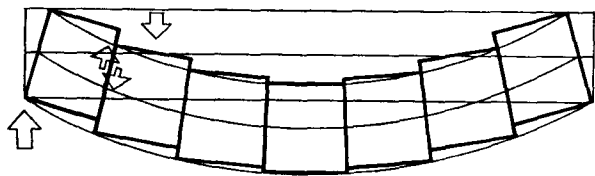
Внешние силы перераспределяются благодаря материи поперечного сечения (срезающие усилия).

## МЕХАНИЗМ ИЗГИБА И СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗГИБУ



внешний крутящий момент (изгиб)

Сумма внешних сил (нагрузки и реакции) вызывает растяжение свободных концов (точки опоры), которое ведет к кривизне продольной оси: изгиб.



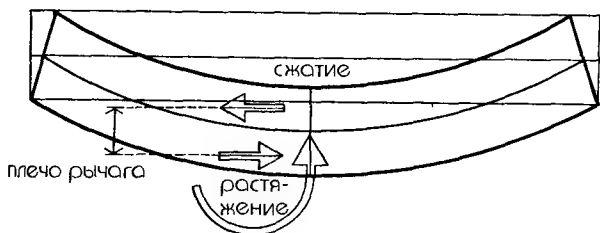
поперечные усилия (вертикальные срезающие усилия)

Из-за разности сторон направлений нагрузки и реакции внешние силы пытаются сдвинуть вертикальные волокна по отношению друг к другу.



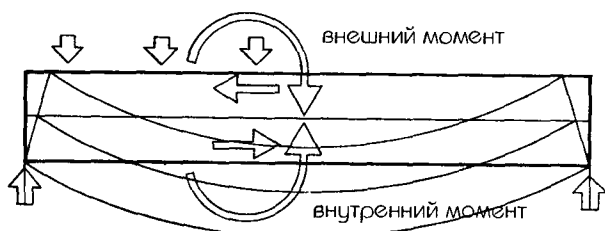
горизонтальные срезающие усилия

Прогиб вызывает сокращение верхних и удлинение нижних слоев, вследствие чего горизонтальные волокна сдвигаются относительно друг друга.



внутренний крутящий момент (реакция)

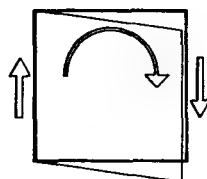
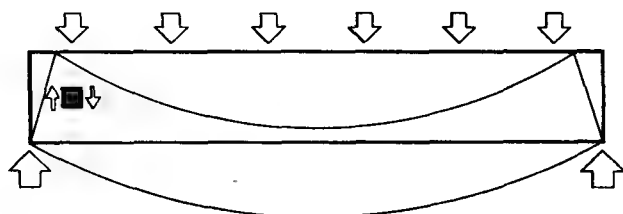
Вследствие прогиба посредством передачи срезающего усилия активизируются растягивающие и сжимающие усилия в поперечном сечении, которые вызывают внутренний крутящий момент.



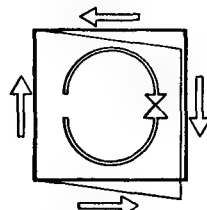
изгиб и сопротивление изгибу

Крутящий момент внешних сил вызывает прогиб вплоть до точки, где внутренний реактивный крутящий момент будет достаточно велик, чтобы удержать внешний крутящий момент.

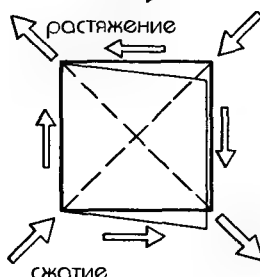
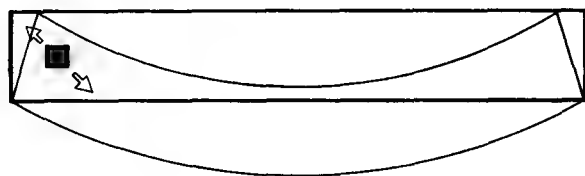
## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СРЕЗЫВАЮЩИХ, РАСТЯГИВАЮЩИХ И СЖИМАЮЩИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГИБЕ



Из-за внешних сил возникают поперечные усилия, которые пытаются повернуть элементы (прямоугольник) балки и тем самым вызвать прогиб.

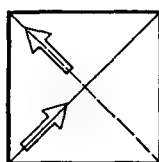
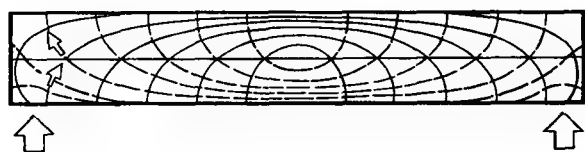


Вследствие прогиба создаются горизонтальные срезающие усилия, которые пытаются повернуть элементы (прямоугольник) в обратном направлении и тем самым создать равновесие при вращении.



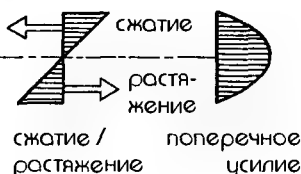
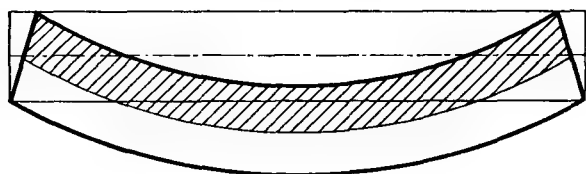
Поперечные усилия и горизонтальные срезающие усилия присоединяются к растягивающим и сжимающим усилиям, которые деформируют элементы до ромба. Деформации противостоит прочность материала.

## ЛИНИИ НАПРАВЛЕНИЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ



Линии напряжения в балке образуют две группы, которые пересекаются всегда под прямым углом = направления сжатия, имеют форму линии опоры, линии растяжения имеют форму цепной линии.

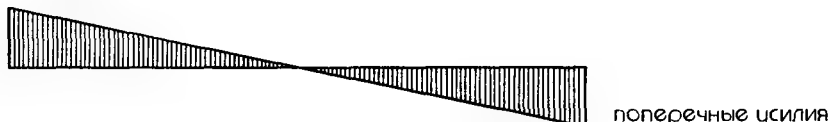
## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В БАЛКЕ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ



распределение напряжения в поперечном сечении балки



изгиб



поперечные усилия

Напряжения изгиба распределяются при нагрузке такой же длины по параболе вдоль балки, с максимальным напряжением по центру балки.

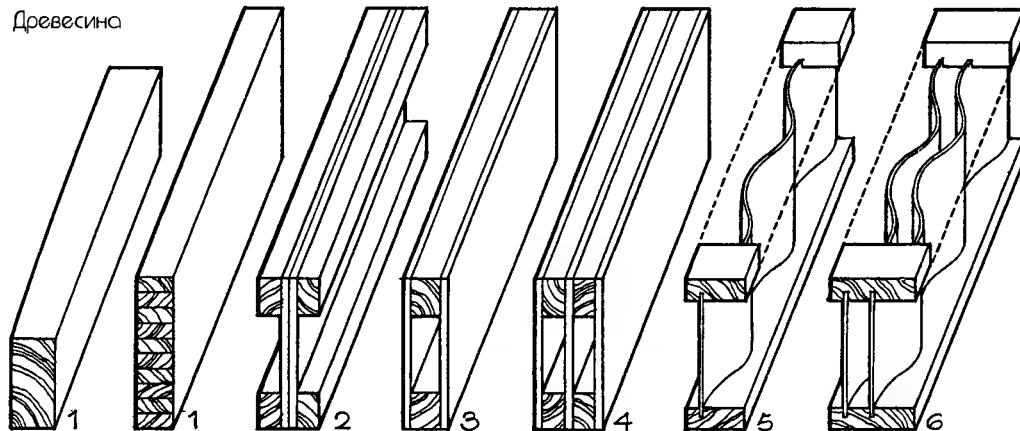
Поперечные усилия максимальны над опорами и уменьшаются к середине. В центре балки они равны нулю.

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СПЛОШНОЙ БАЛКИ

Принцип действия несущих систем, активных по сечению, основан на мобилизации срезающих усилий, т. е. несущая функция этих систем осуществляется действиями в поперечном сечении. Здесь логично —

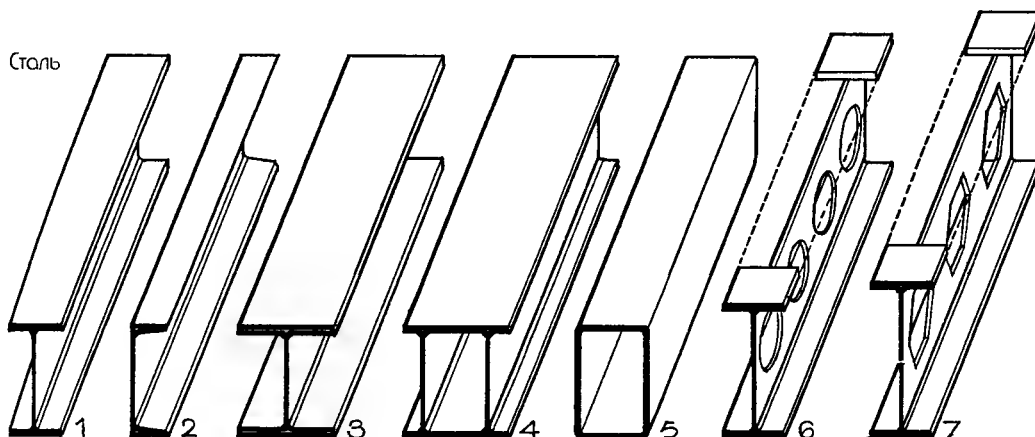
в отличие от других видов несущих конструкций — рассматривать формирование поперечного сечения в зависимости от материала как первичную задачу проектирования несущей конструкции.

## Древесина



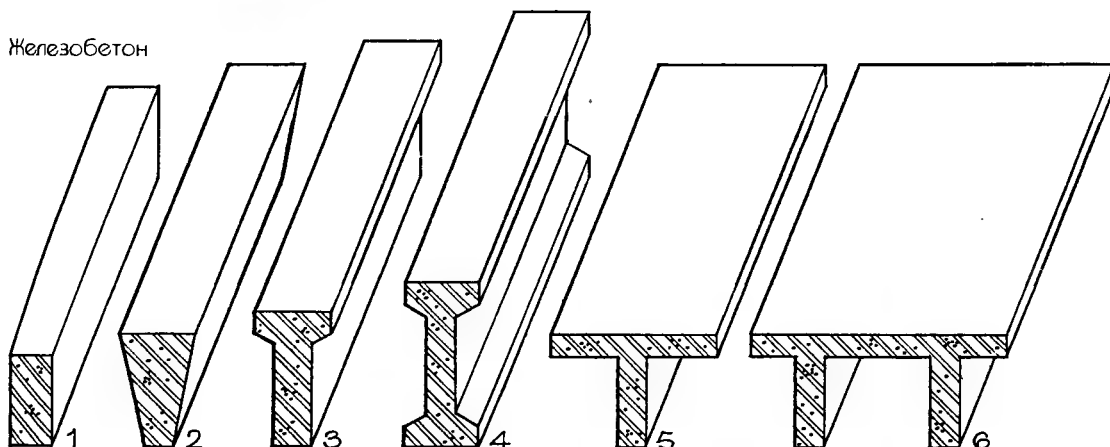
- 1 прямоугольная балка
- 2 двутавровая прокатная балка
- 3 балка коробчатого сечения
- 4 двойная балка коробчатого сечения
- 5 балка с волнистой стенкой
- 6 балка с двойной волнистой стенкой

## Сталь



- 1 двутавровая балка
- 2 швеллерная балка
- 3 широкополочная двутавровая балка
- 4 балка коробчатого сечения
- 5 пустотелая балка
- 6 балка с перфорированной стенкой
- 7 балка со стенкой сотовой структуры

## Железобетон

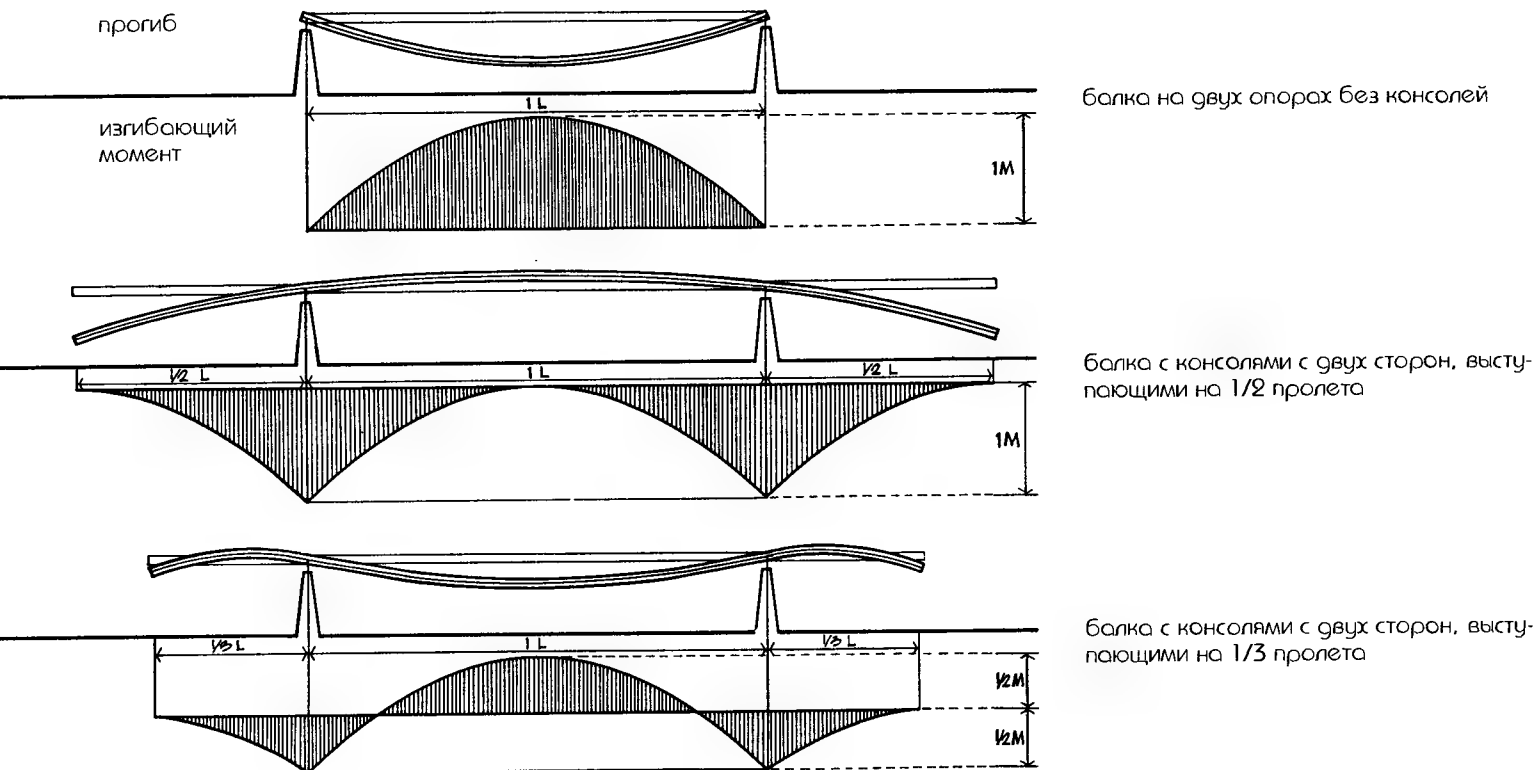


- 1 прямоугольная балка
- 2 трапецидальная балка
- 3 тавровая балка
- 4 двутавровая балка
- 5 балка-плита (Т-образная)
- 6 балка-плита (2Т)

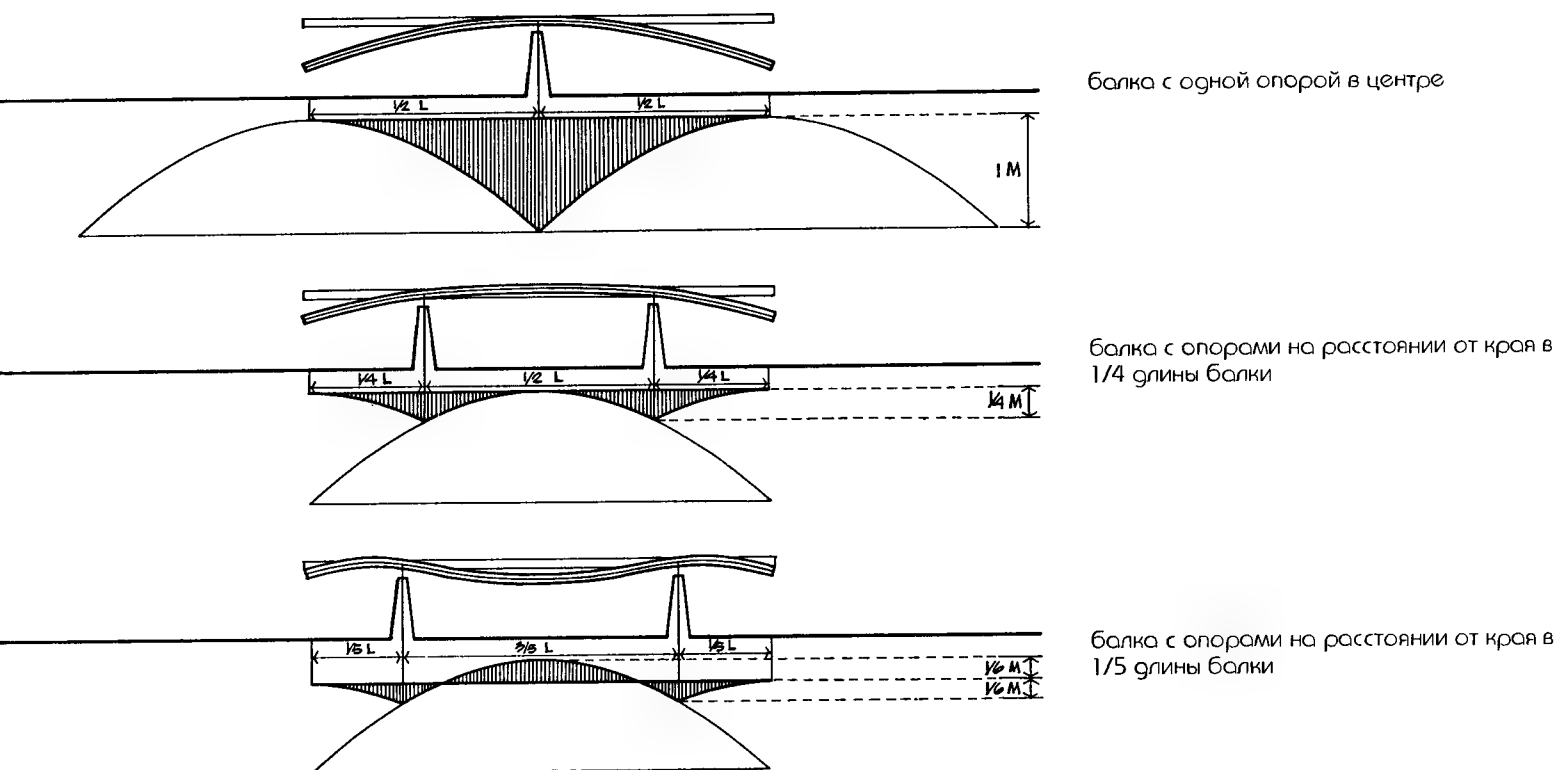
Наряду со стандартными поперечными сечениями балок, которые определяются свойствами строительных материалов, комбинация строительных материалов с использованием конструктивных преимуществ внедренного материала ведет к новым,

особенно продуктивным формам поперечного сечения = железобетонная балка или стальная балка, объединенная с железобетонной плитой.

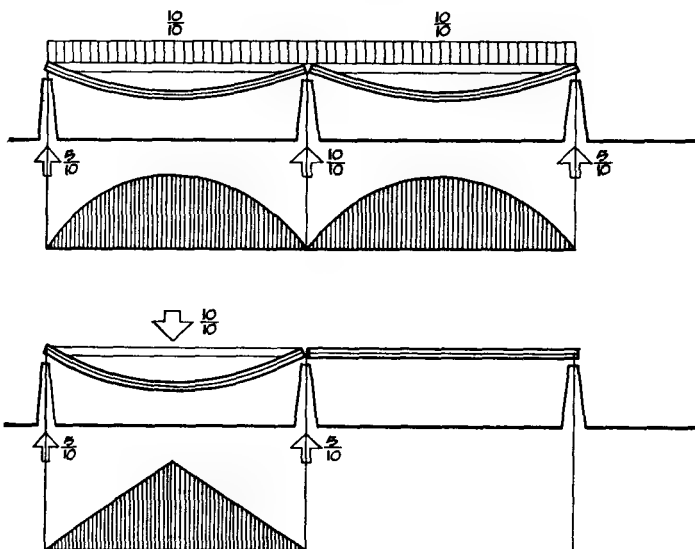
## ВЛИЯНИЕ КОНСОЛИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ НЕСУЩЕЙ БАЛКИ



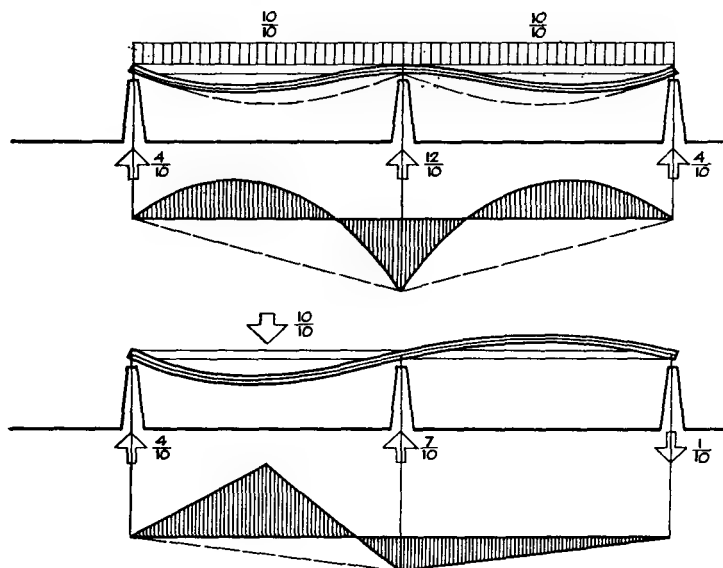
## ВЛИЯНИЕ ОПОР НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ НЕСУЩЕЙ БАЛКИ



## СРАВНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ БАЛОК И НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК



Разрезная балка = прогиб в одном пролете не воспринимается другим. Нагрузки каждый пролет воспринимает независимо от другого.

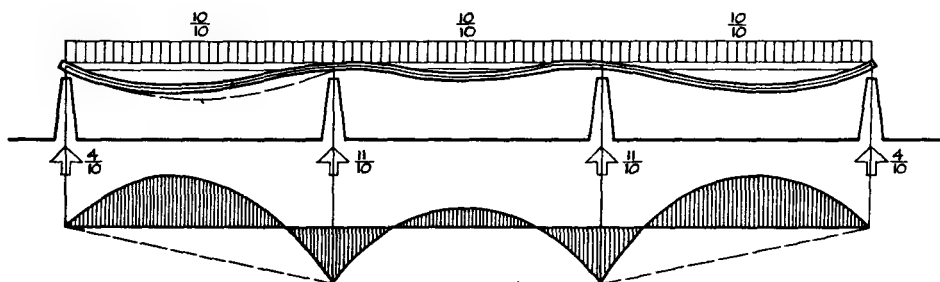


Неразрезная балка = прогиб в одном пролете воспринимается и другим. Нагрузки воспринимаются всей балкой.

## ВЛИЯНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ НА МЕХАНИЗМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

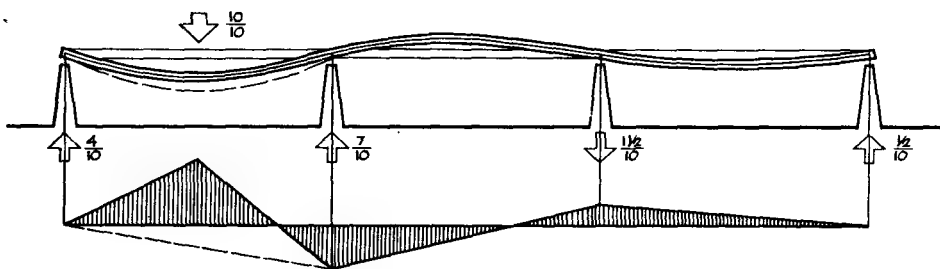
равномерная нагрузка по всей длине

Благодаря непрерывности кручение балки над опорами блокировано. Максимальный изгиб на концах пролетов из-за свободного одностороннего кручения.



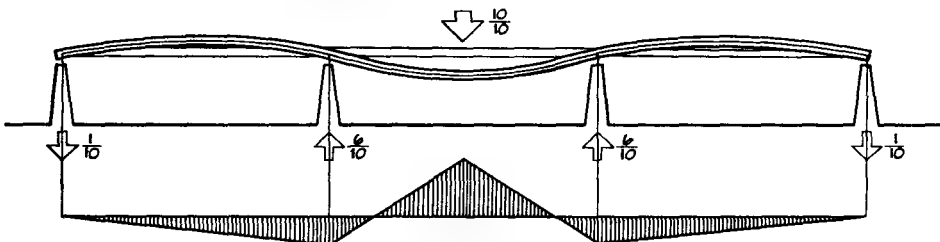
отдельная нагрузка в крайнем пролете

Прогиб в нагруженном пролете уменьшается благодаря односторонней блокировке. И ненагруженные пролеты принимают участие в восприятии нагрузки.

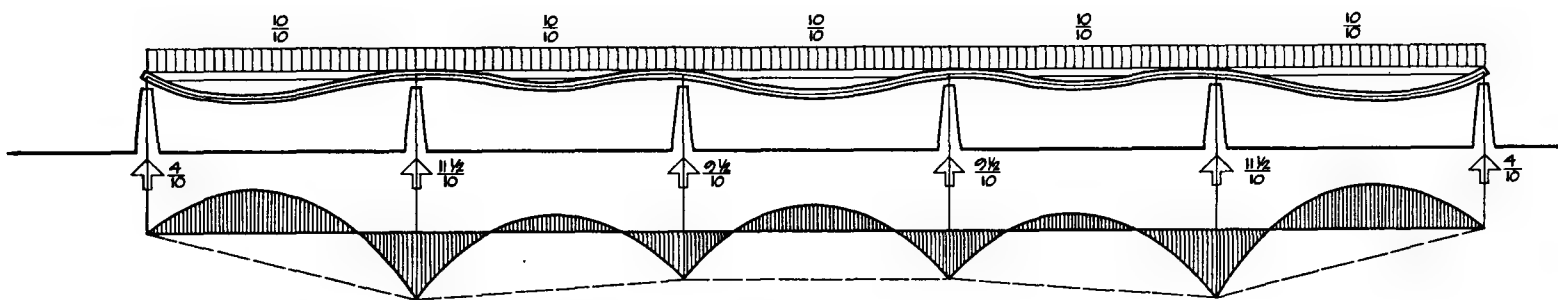


отдельная нагрузка в центральном пролете

Благодаря непрерывности кручение над опорами нагруженного пролета блокировано. Вся балка участвует в механизме сопротивления нагрузке.

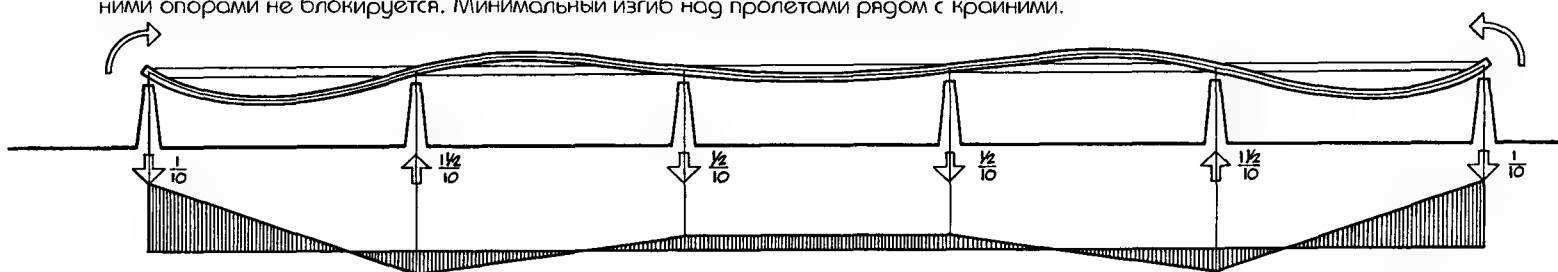


## МЕХАНИЗМ ИЗГИБА В НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКЕ НАД ПЯТЬЮ ПРОЛетаМИ



величина изгиба под равномерной по длине нагрузкой

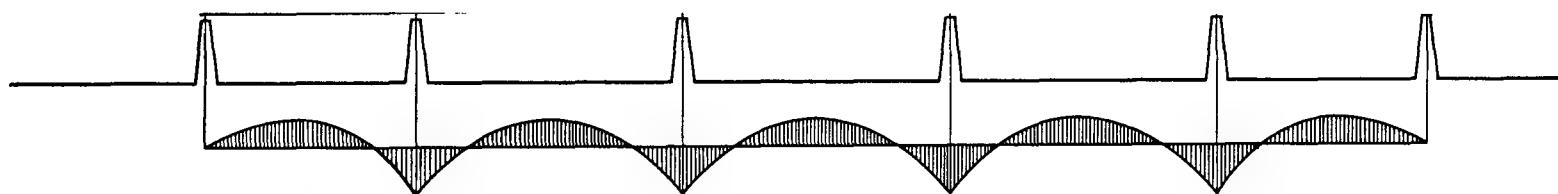
Максимальный изгиб наблюдается над крайними пролетами, где кручение над внешними опорами не блокируется. Минимальный изгиб над пролетами рядом с крайними.



влияние большего момента крайнего пролета

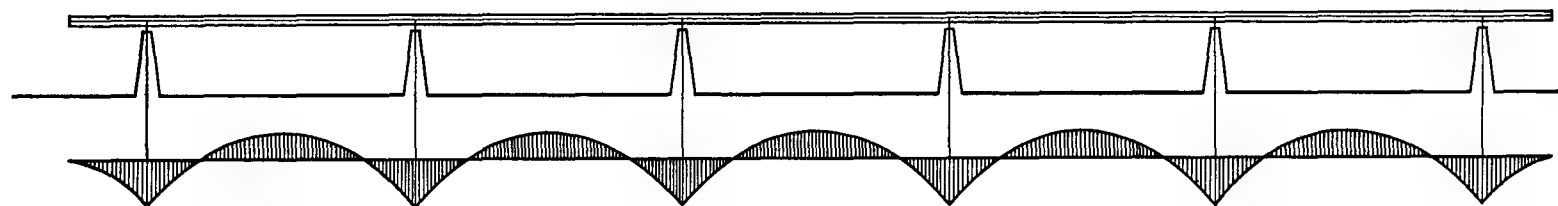
Недостаток блокировки кручения над крайними опорами влияет на изгиб в других пролетах таким же образом, как дополнительный крутящий момент.

## возможности распределения изгиба в неразрезной балке



уменьшение крайних пролетов

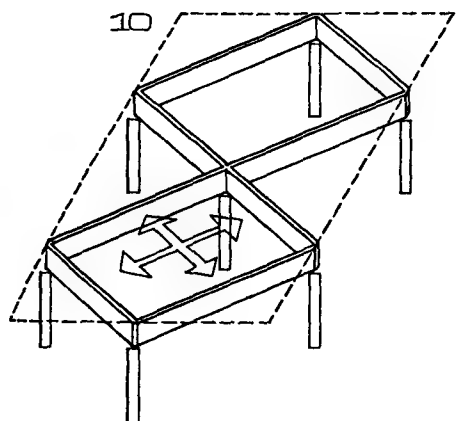
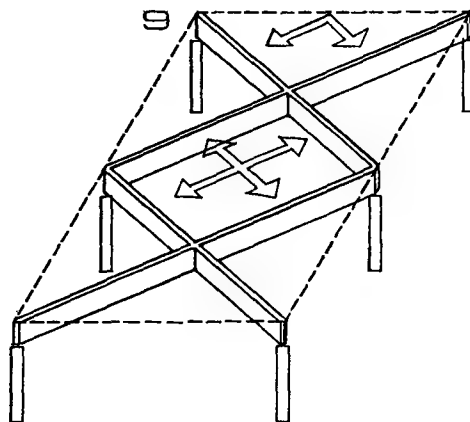
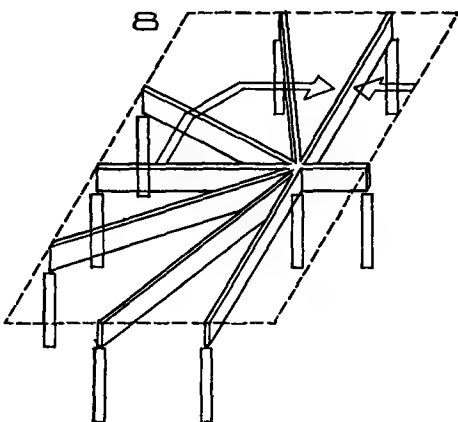
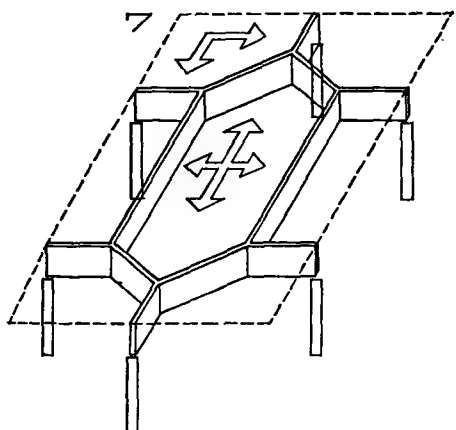
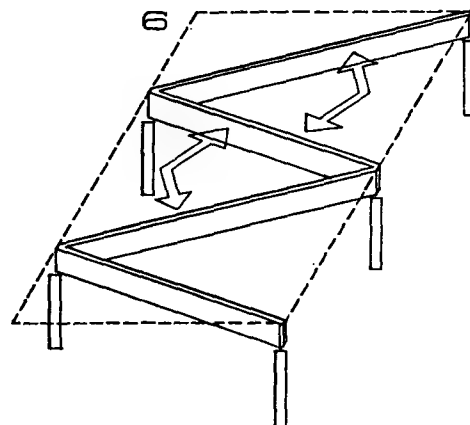
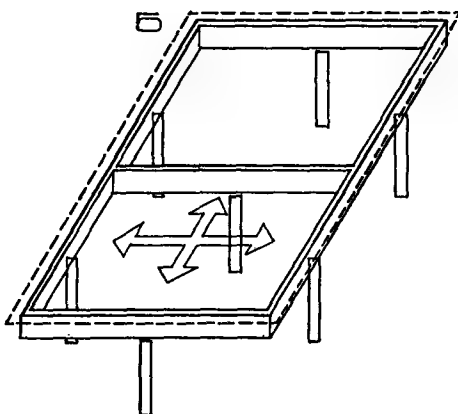
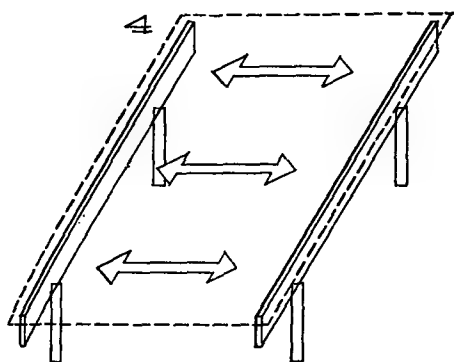
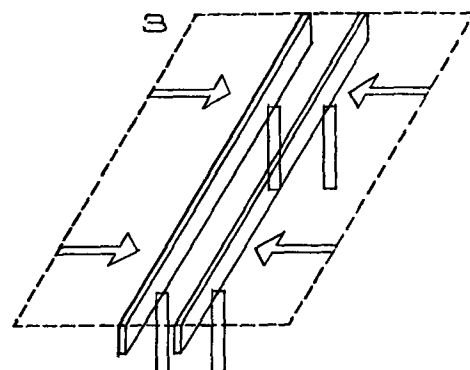
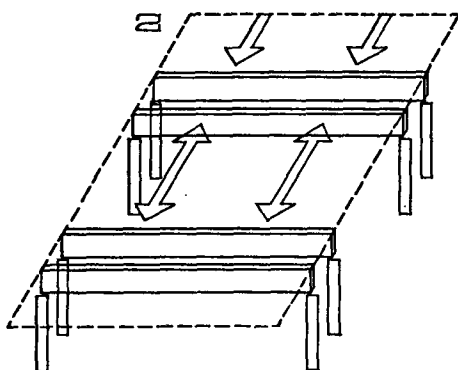
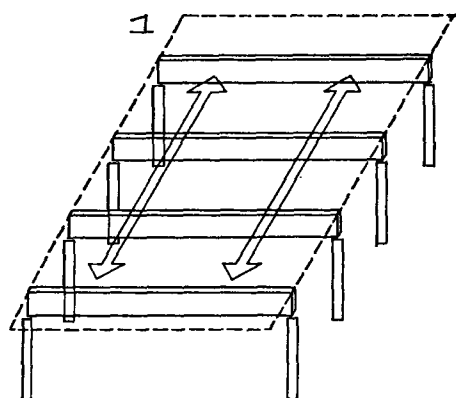
Благодаря уменьшению длины изгиба прогиб в крайнем пролете может повлиять на величину прогиба в других пролетах.



консоли над крайними опорами

Благодаря кручению в обратном направлении консолей прогиб в крайнем пролете влияет на величину прогиба в других пролетах.

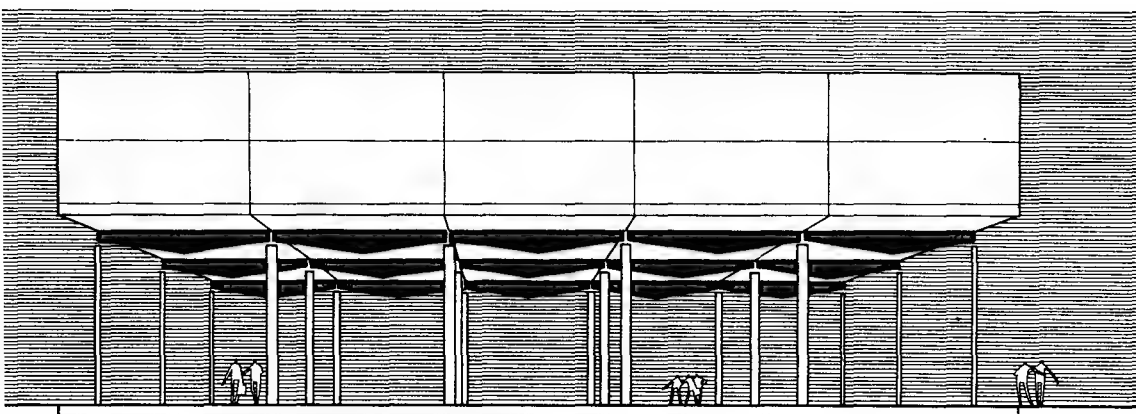




РАСПОЛОЖЕНИЕ БАЛОК ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ

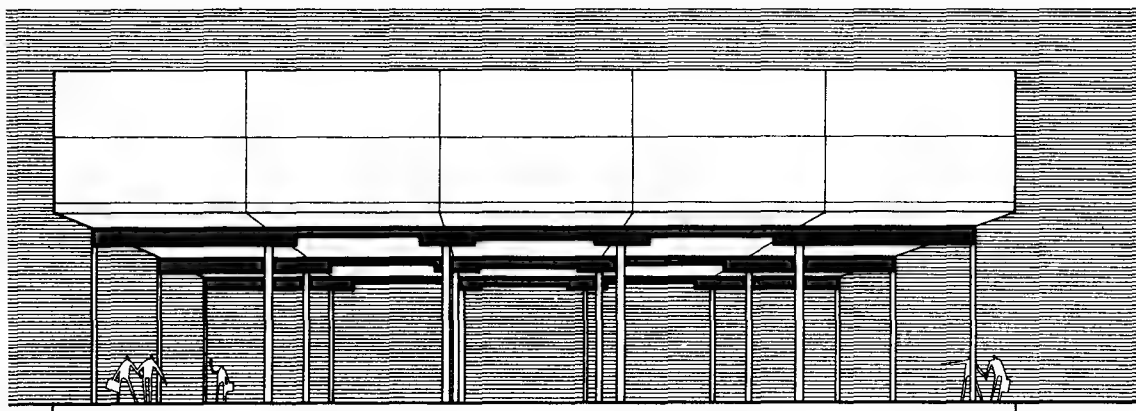
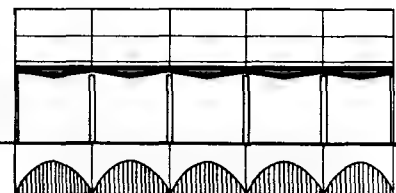
- 1 Поперечное расположение в ряд
- 2 Поперечная попарная группировка
- 3 Продольное соединение
- 4 Продольное расположение по краям
- 5 Квадратная сетка
- 6 Зигзагообразное расположение
- 7 Разветвление
- 8 Пример радиального расположения
- 9 Диагональное перекрещивание
- 10 Диагональная сетка

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ БАЛОК НАД ПЯТЬЮ ПРОЛЕТАМИ



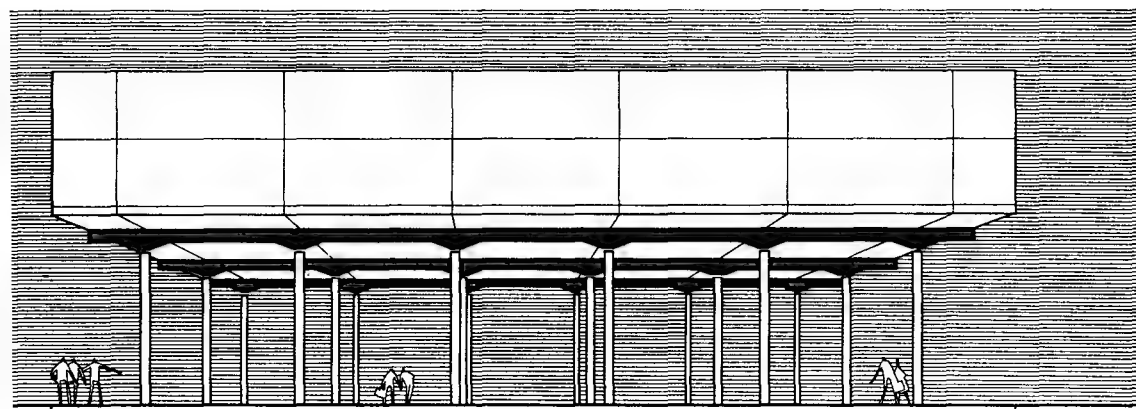
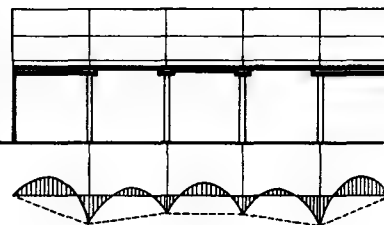
прямолинейное увеличение высоты конструкции для центра пролета

отдельная балка (разрезная балка) для каждого пролета = равное распределение напряжения для каждого пролета



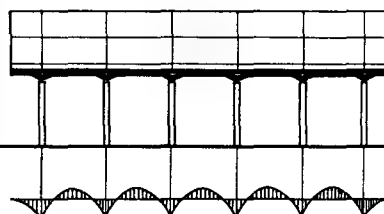
ступенчатое выравнивание высоты конструкции

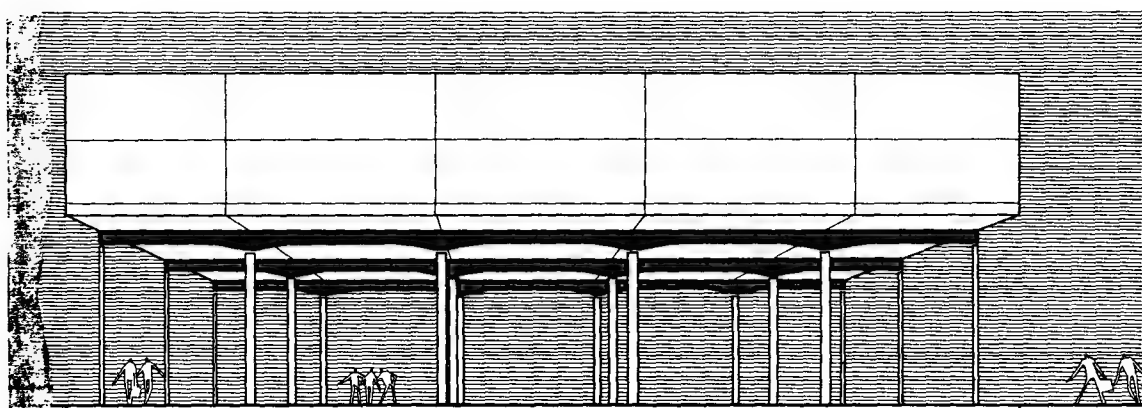
неразрезная балка над пятью одинаковыми пролетами = различное распределение напряжения на каждый пролет



увеличение высоты конструкции над опорами

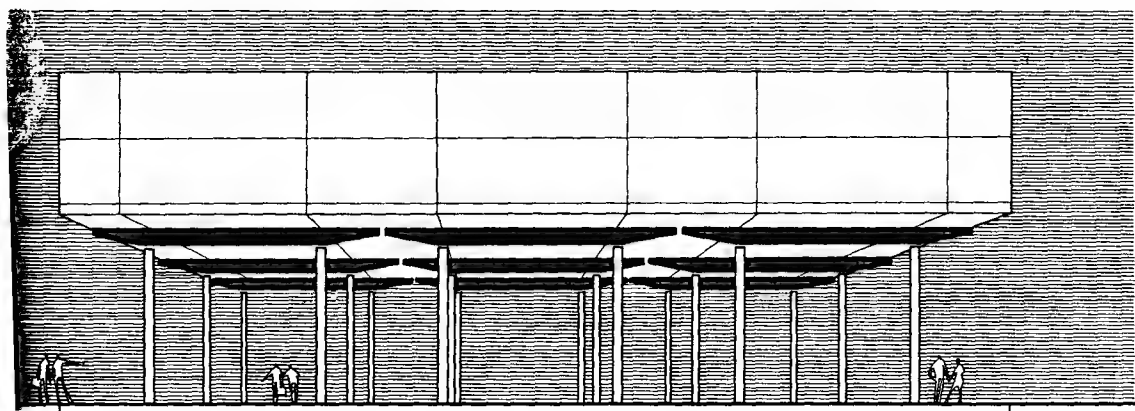
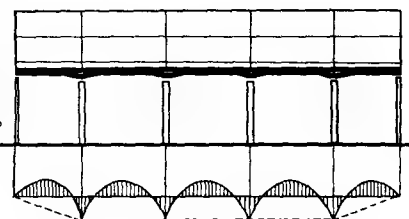
неразрезная балка с консолями по краям = равное распределение напряжения для каждого пролета





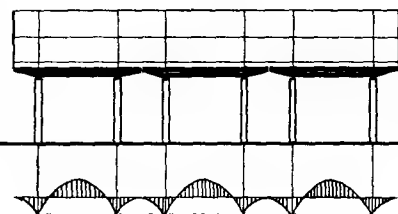
увеличение высоты конструкции  
над опорами

неразрезная балка с уменьше-  
нием крайних пролетов: макси-  
мальные напряжения для всех  
пролетов скомпенсированы

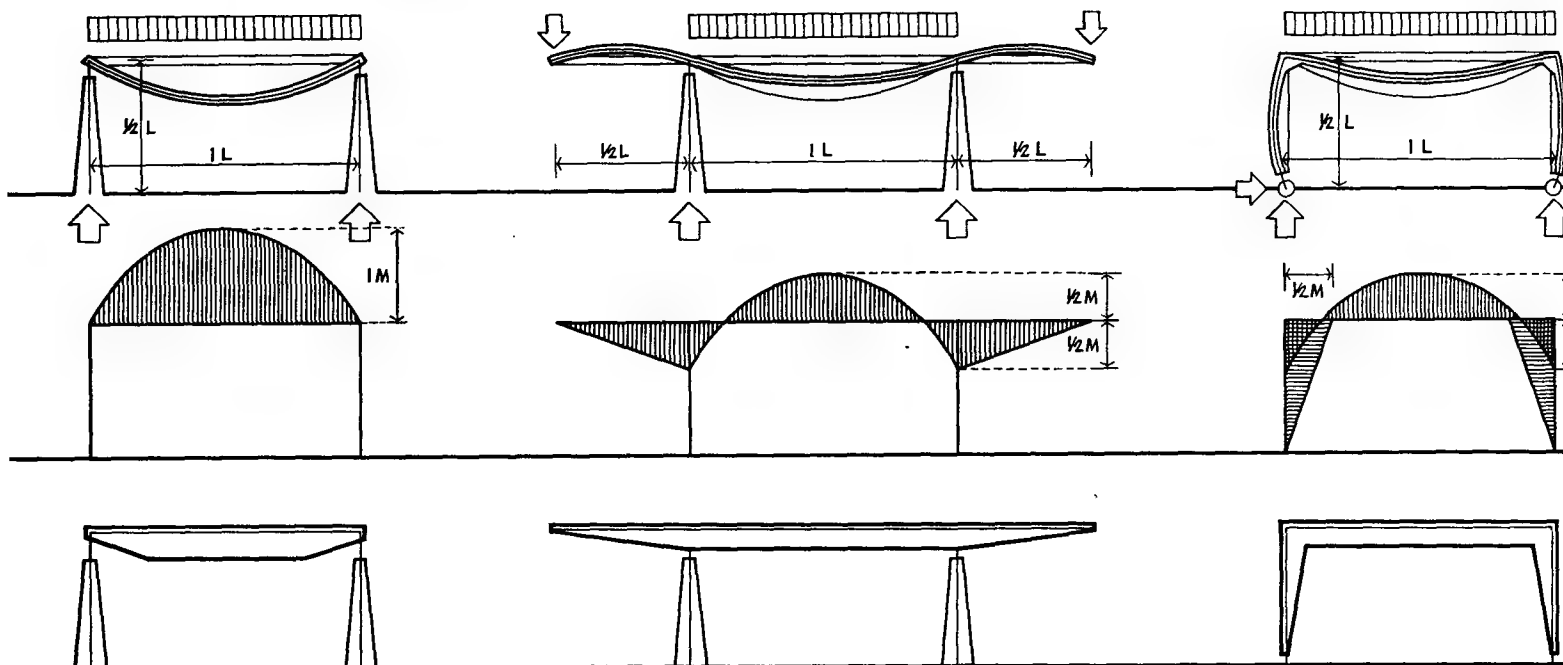


снижение высоты конструкции  
по краям

три отдельные балки с консоль-  
ями по краям = равномерное  
распределение напряжений  
для каждой балки



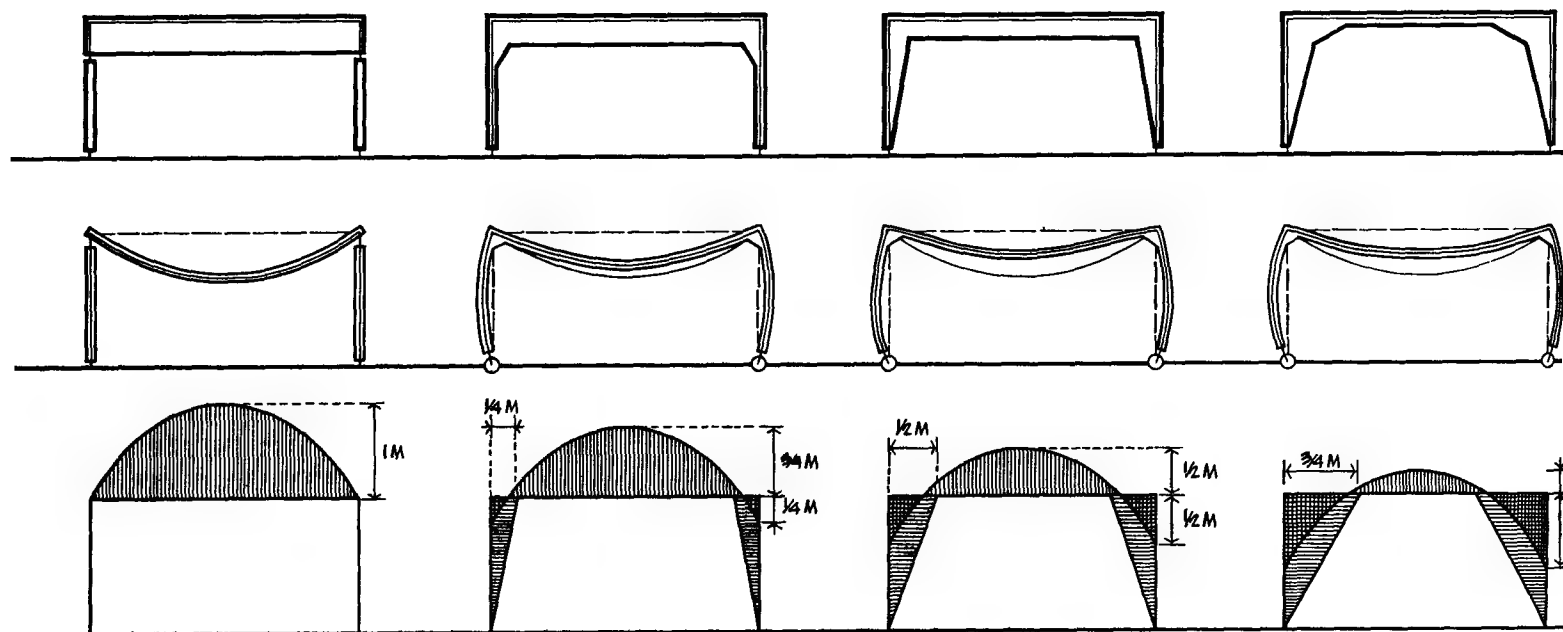
## РАМНЫЙ МЕХАНИЗМ И ЕГО ОТНОШЕНИЕ К БАЛКАМ С КОНСОЛЯМИ



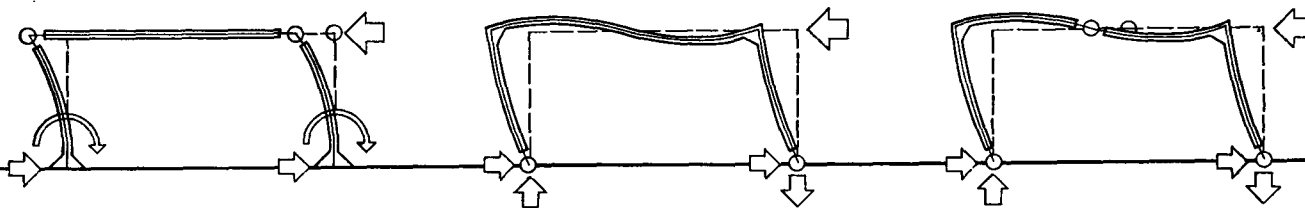
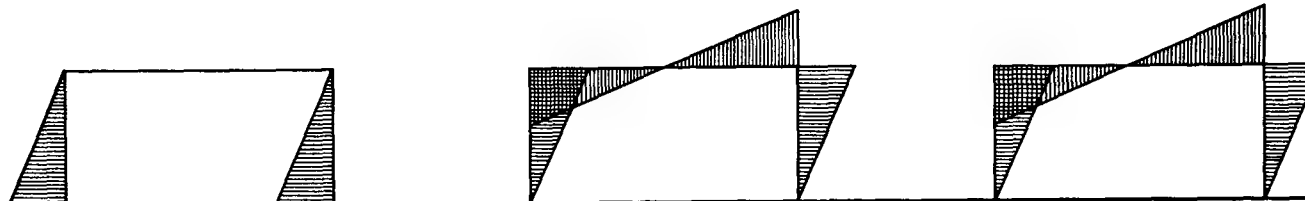
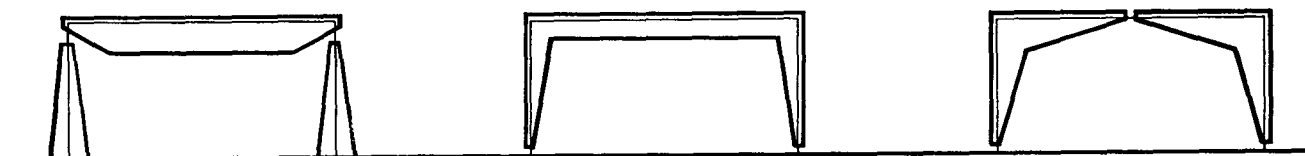
Горизонтальные усилия в опорных точках рамы ограничивают кручение угла рамы и уменьшают прогиб ригеля так же, как отдельные нагрузки на концах балки с консолями.

## ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ РАМЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ФОРМУ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

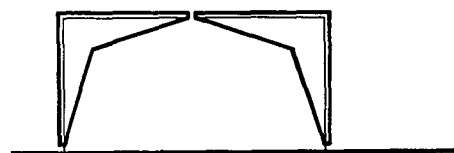
Связи между балками, двухшарнирными рамами и трехшарнирными рамами



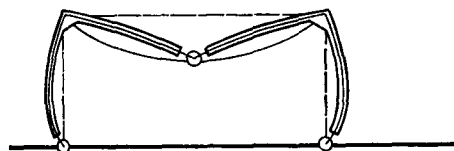
## МЕХАНИЗМ СОПРОТИВЛЕНИЯ БОКОВЫМ НАГРУЗКАМ

деформация  
изгибанапряжения  
изгибаформа несущей  
конструкции

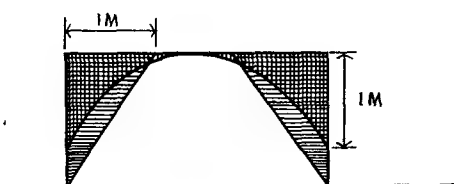
В отличие от простой балки, которой необходима дополнительная жесткость опор, в шарнирной раме из-за деформации активизируются только вертикальные усилия опор, которые вызывают встречное кручение.



жесткость рамы



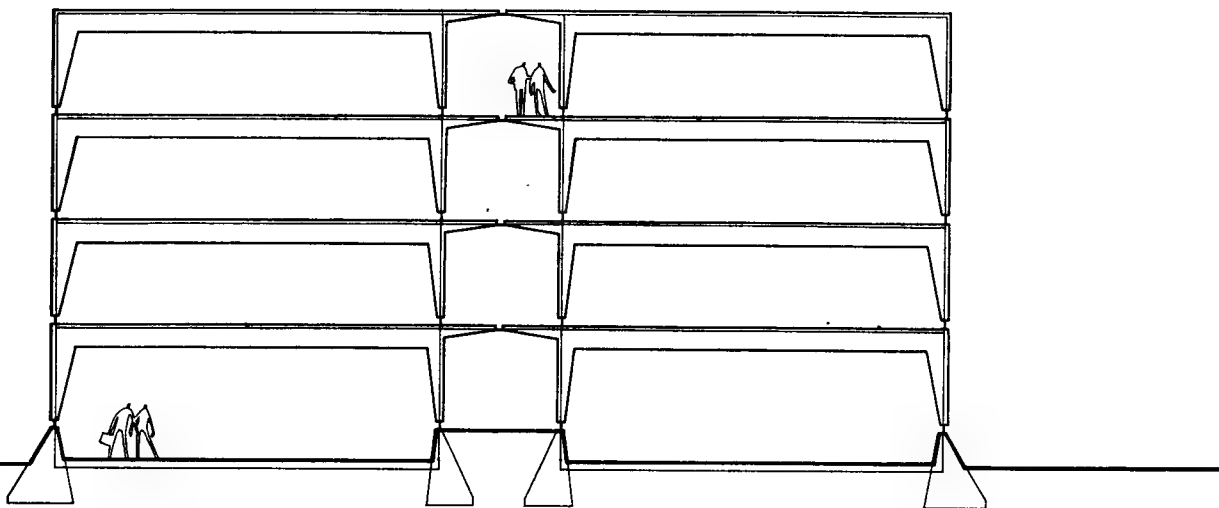
прогиб



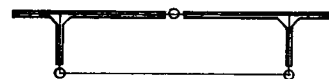
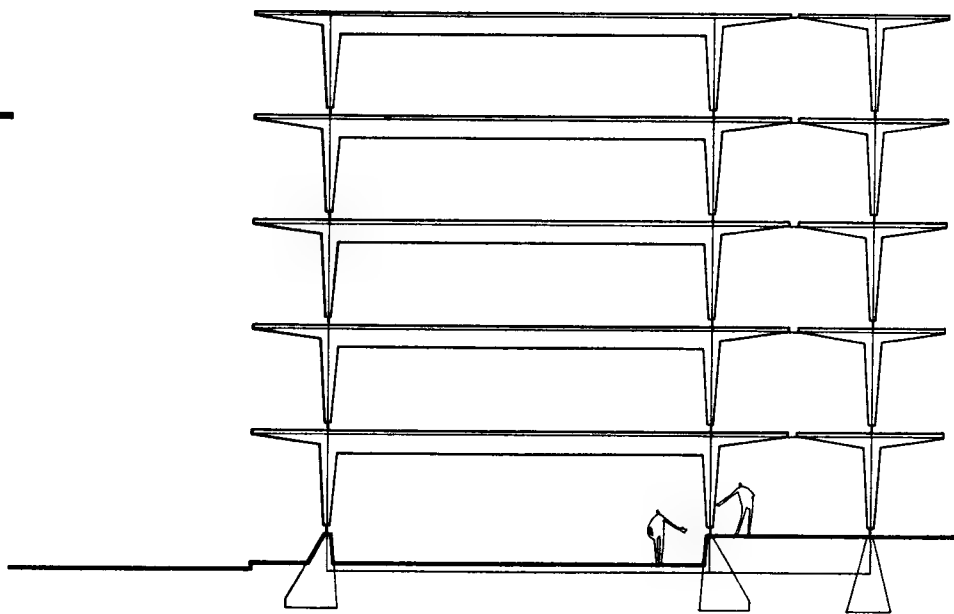
изгибающие напряжения

Вследствие непрерывности над углами рамы ригель рамы может в зависимости от жесткости опор разгружаться по-разному. Благодаря этому осуществляется контроль степени прогиба и формы несущей конструкции.

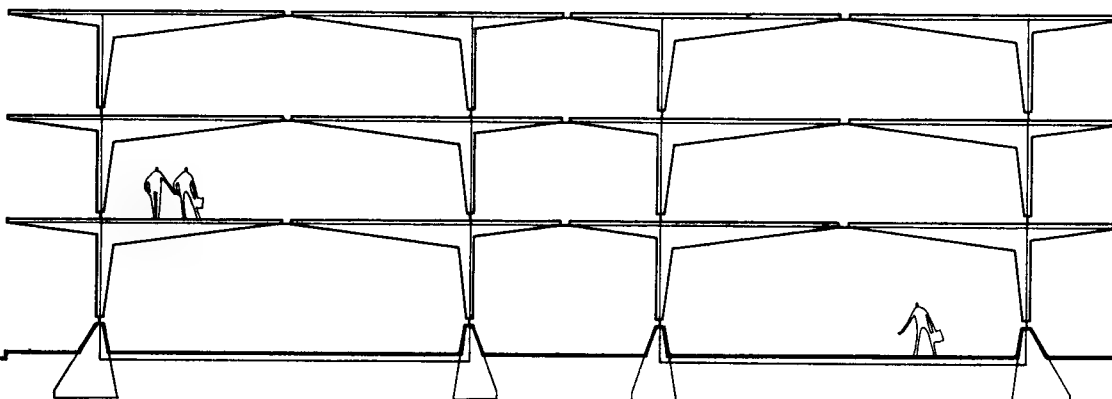
## ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ШАРНИРНЫХ РАМ



системы с двухшарнирными рамами

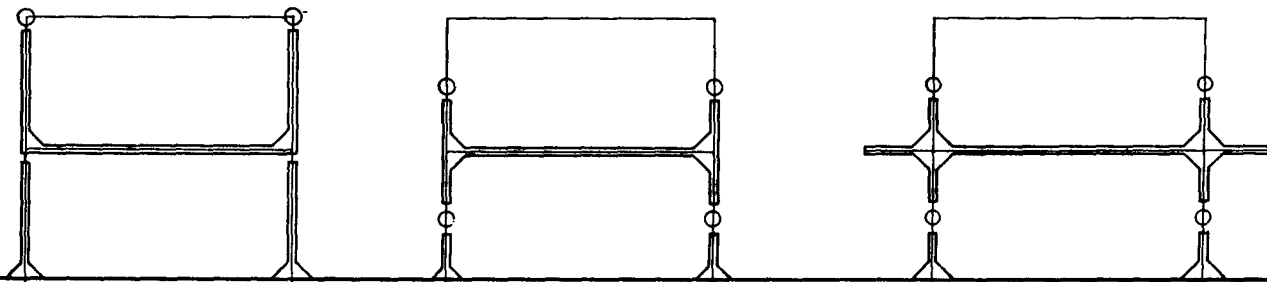
системы с двухшарнирными  
и Т-образными рамами

система с трехшарнирными рамами

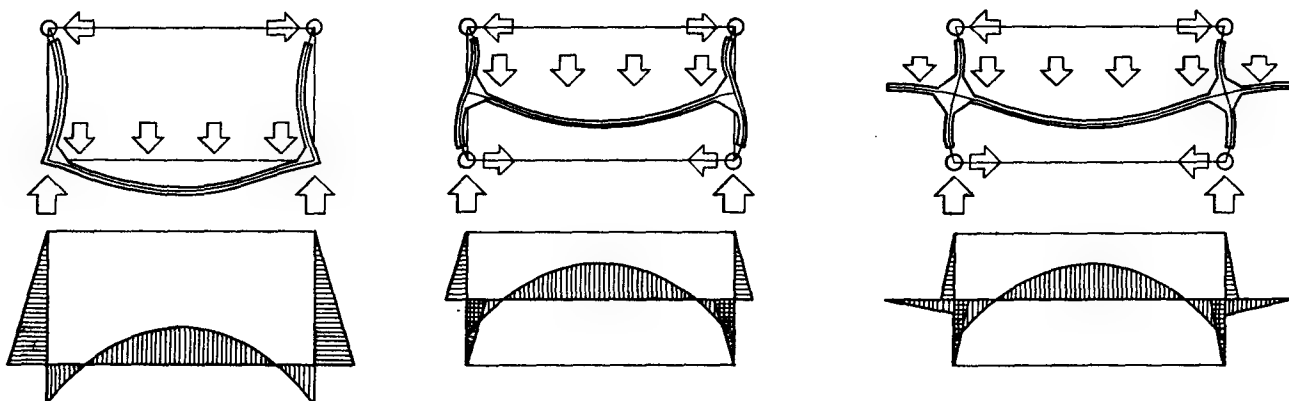


## МЕХАНИЗМ ОБРАТНОЙ И СДВОЕННОЙ ФОРМЫ ДВУХШАРНИРНОЙ РАМЫ

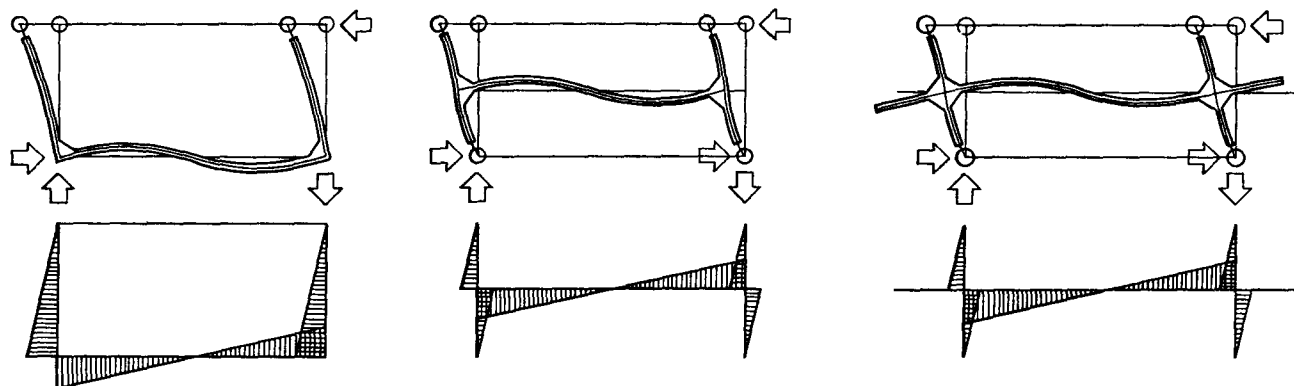
система несущей конструкции



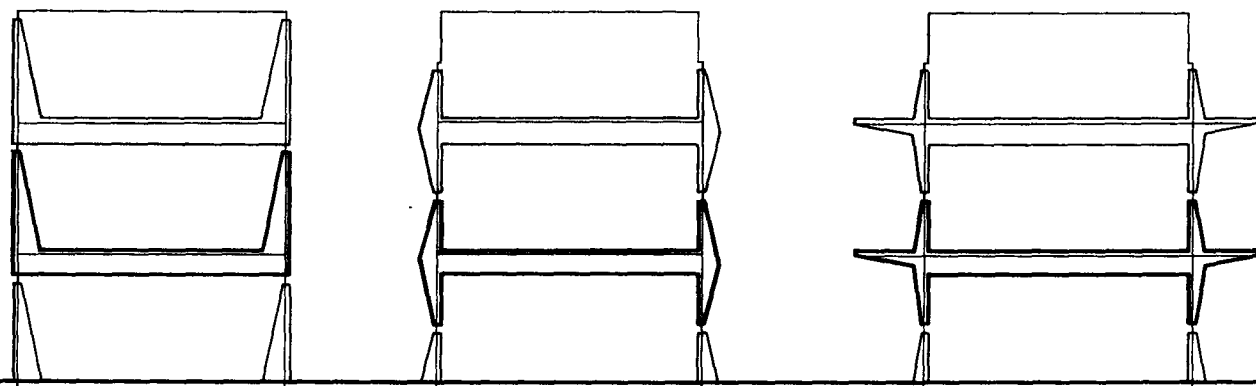
под вертикальной нагрузкой



под горизонтальной нагрузкой



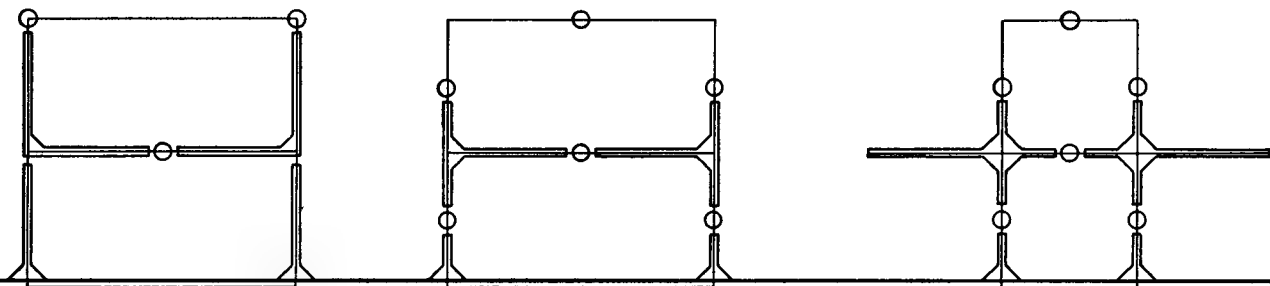
типичная форма несущей конструкции



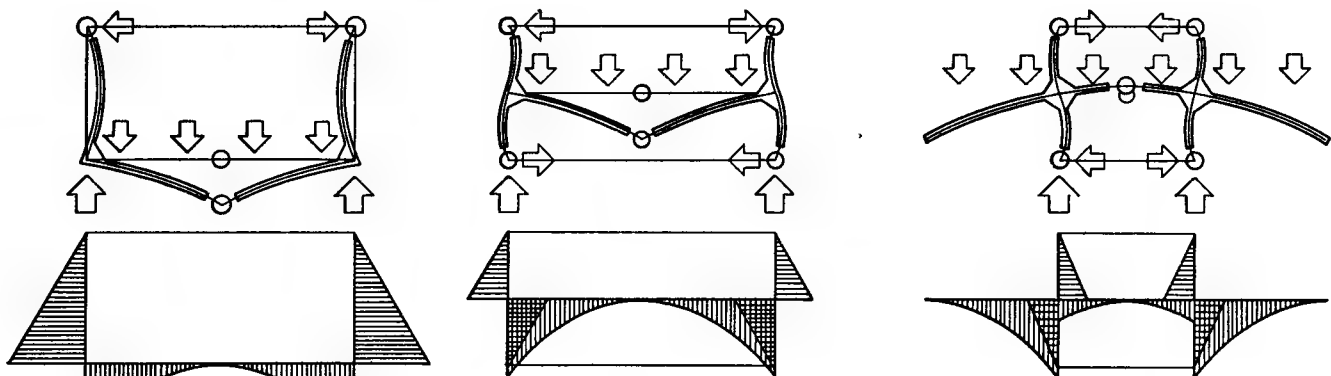
Типичный несущий механизм двухшарнирной рамы и после перевертывания рамы или удвоения дополнительных опор остается таким же активным.

## МЕХАНИЗМ ПЕРЕВЕРНУТОЙ ИЛИ СДВОЕННОЙ ФОРМЫ ТРЕХШАРНИРНОЙ РАМЫ

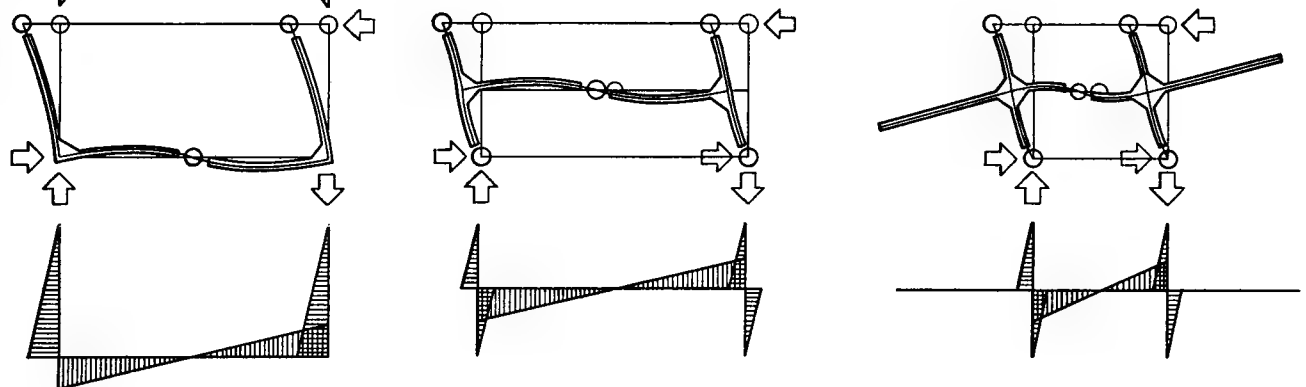
система  
несущих  
конструкций



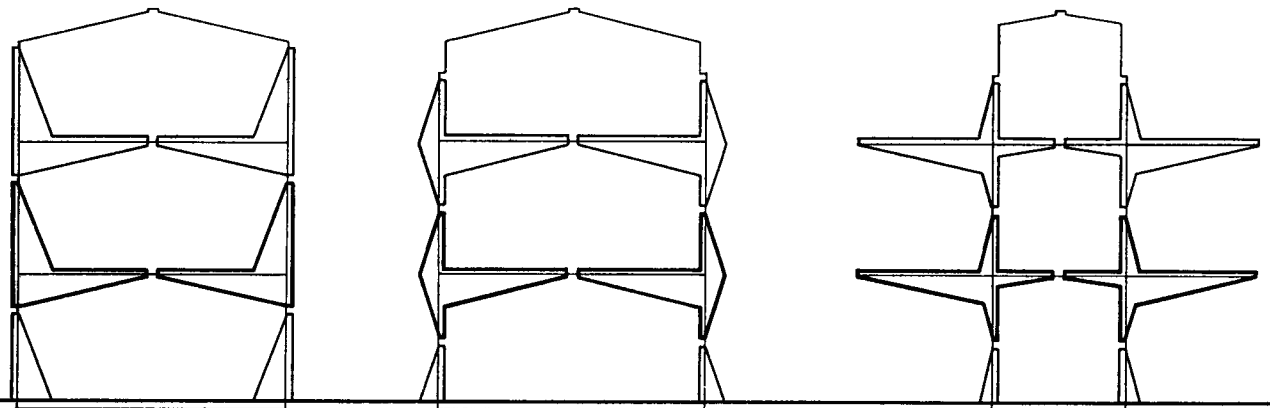
под верти-  
кальной  
нагрузкой



под гори-  
зонтальной  
нагрузкой



типичная  
форма  
несущей  
конструкции

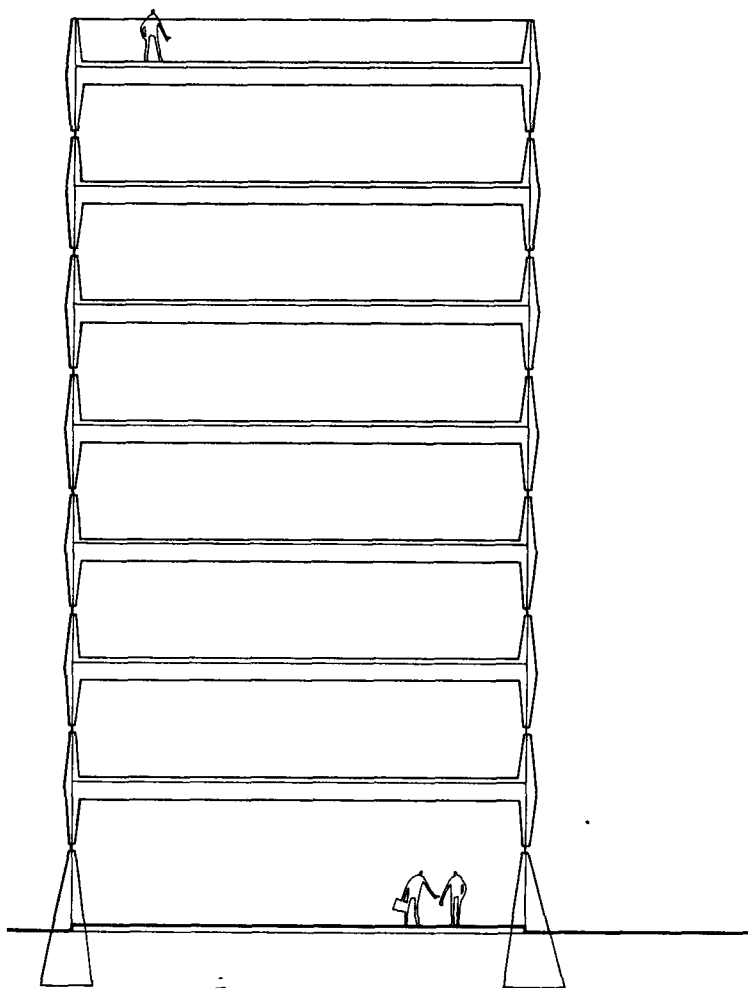
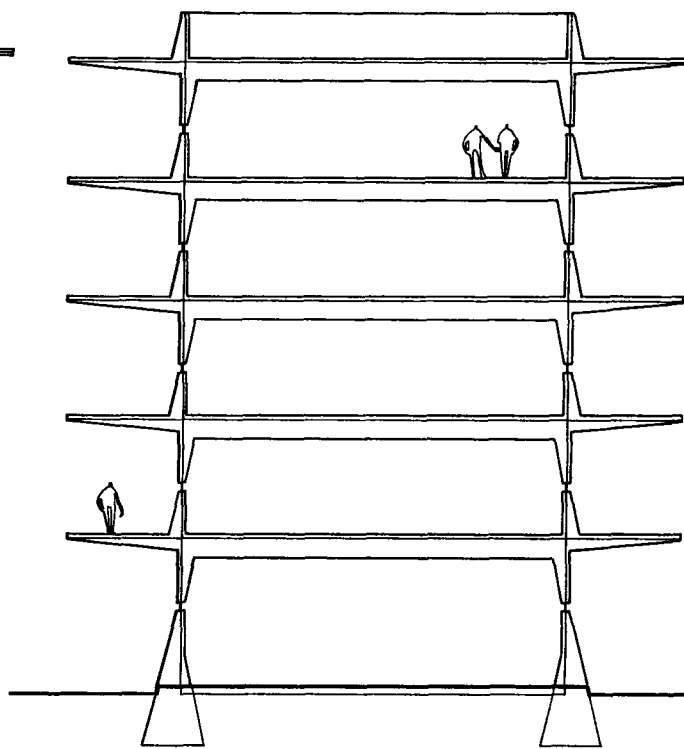


Типичный несущий механизм трехшарнирной рамы и после перевертывания рамы или удвоения дополнительных опор остается таким же активным.



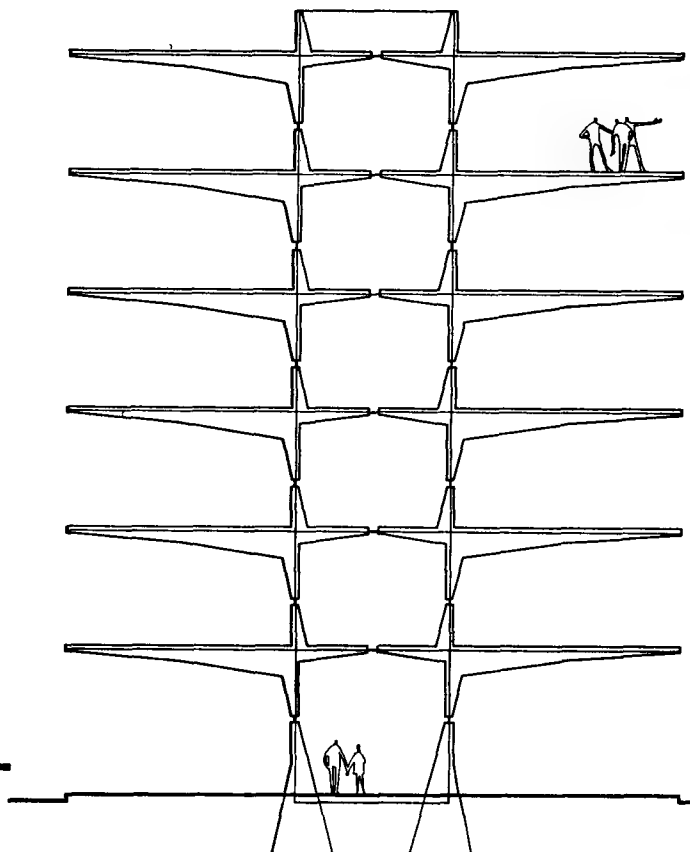
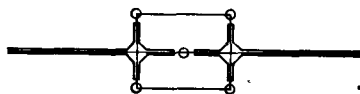
## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ РАМ СО СДВОЕННЫМИ ОПОРАМИ

системы из двухшарнирных рам  
с консолями

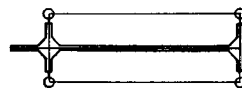
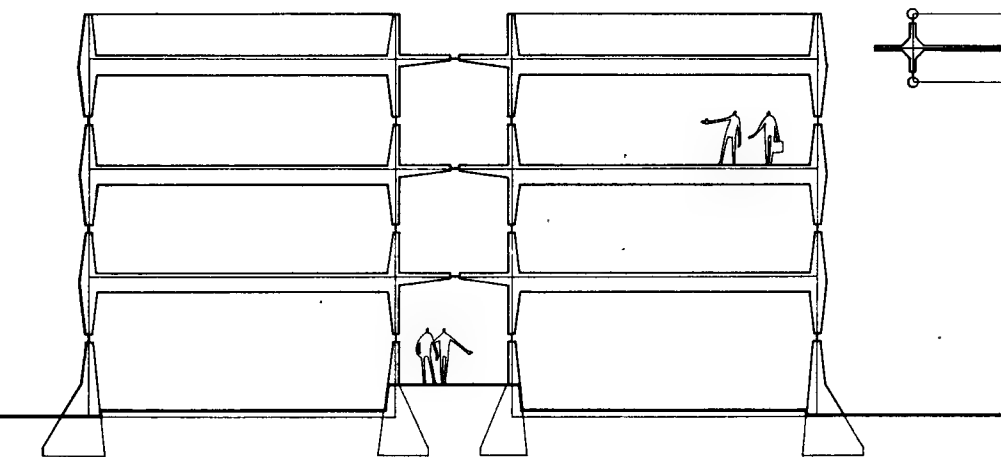


системы из двухшарнирных  
рам

системы из трехшарнирных рам  
с длинными консолями

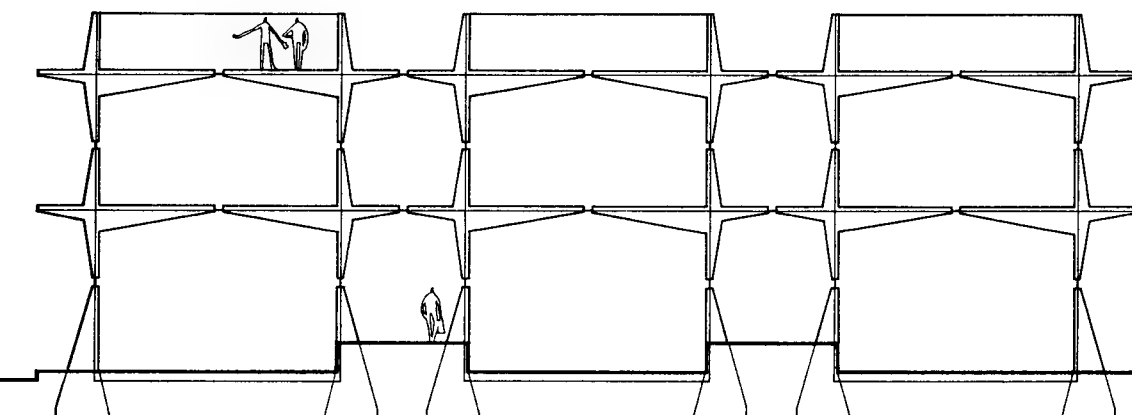
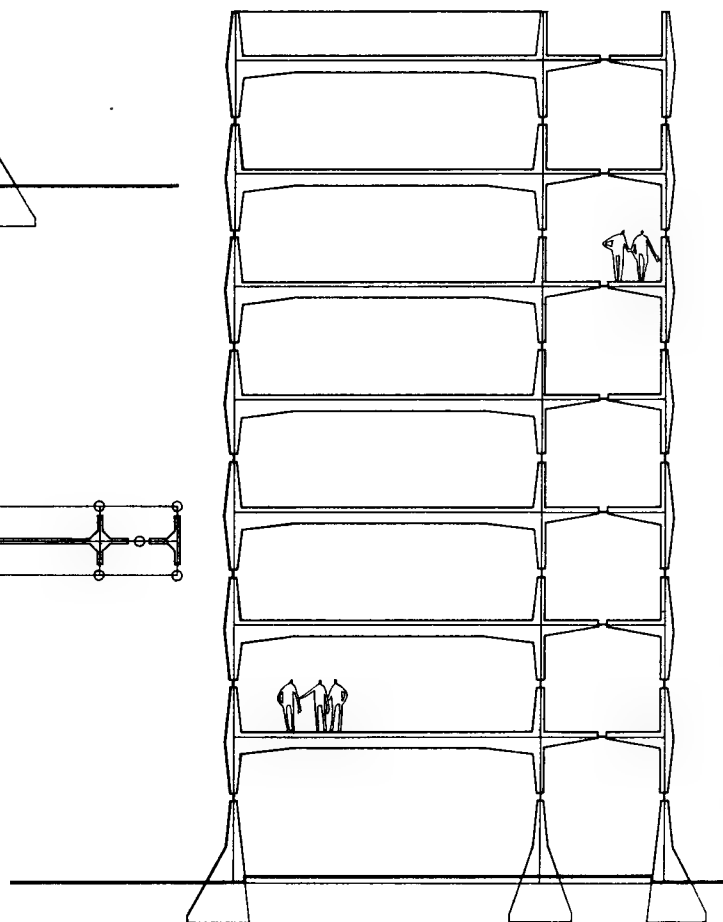


## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ШАРНИРНЫХ РАМ СО СДВОЕННЫМИ ОПОРАМИ

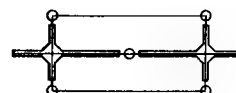


система из двухшарнирной рамы с консолью

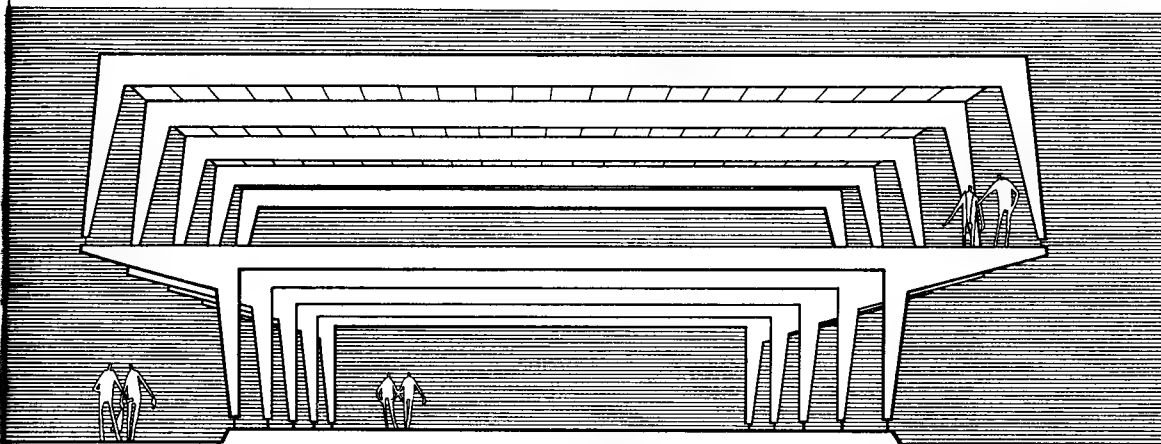
система из двухшарнирной рамы и полурамы



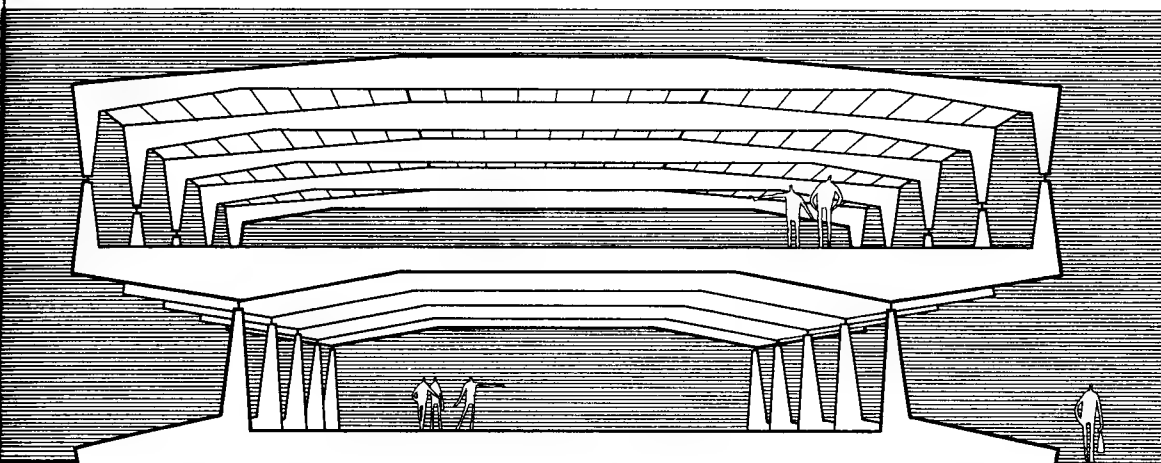
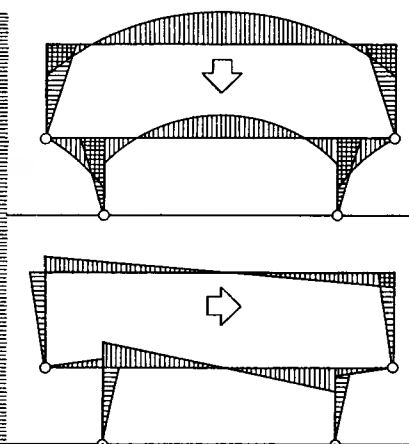
система из трехшарнирной рамы с консолью



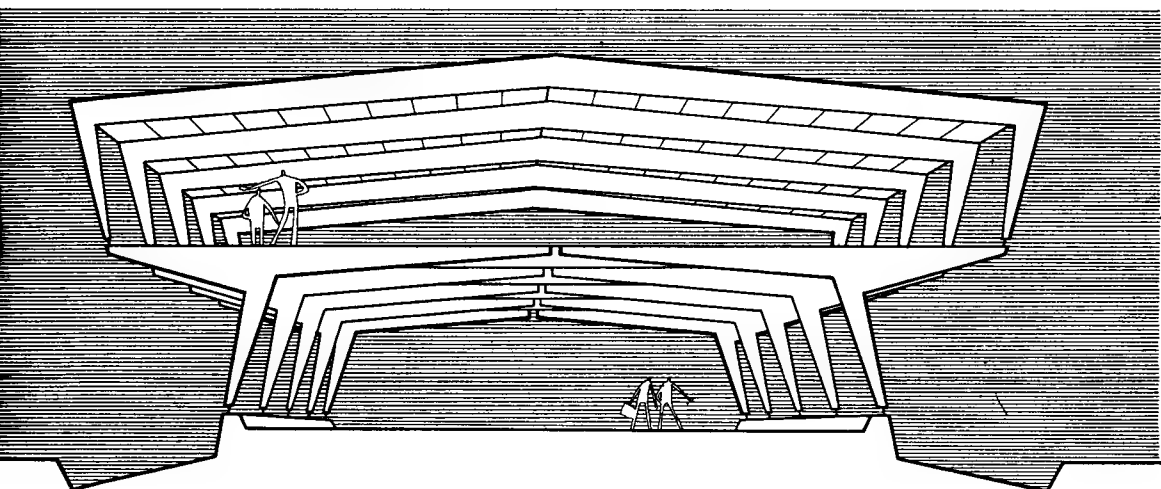
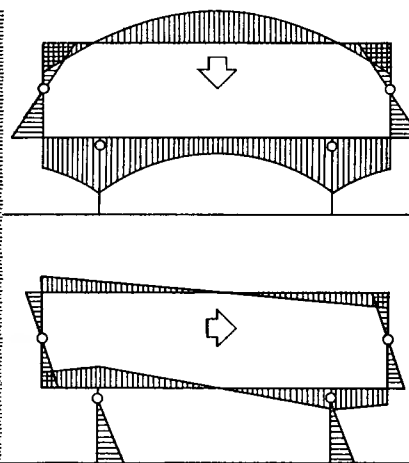
## ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ИЗ ШАРНИРНЫХ РАМ



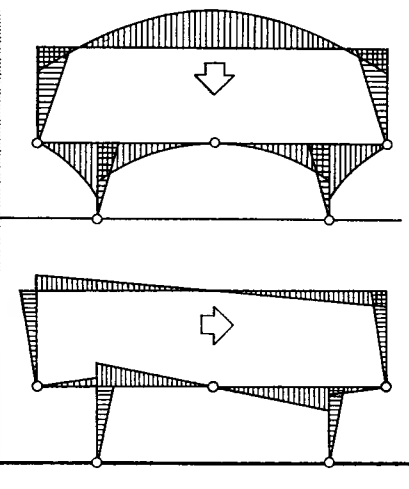
двухшарнирная рама, установленная  
на консоль двухшарнирной рамы



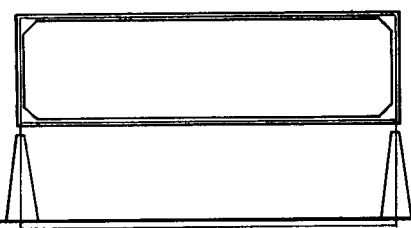
двухшарнирная рама, установленная на перевер-  
нутую двухшарнирную раму над опорами



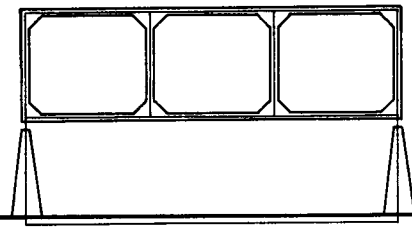
двухшарнирная рама, установленная  
на консоль трехшарнирной рамы



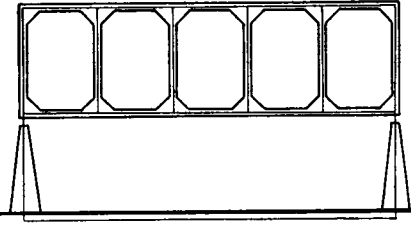
## МЕХАНИЗМ НЕРАЗРЕЗНОЙ И МНОГОПАНЕЛЬНОЙ РАМЫ



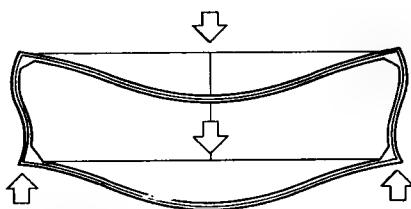
однопанельная рама



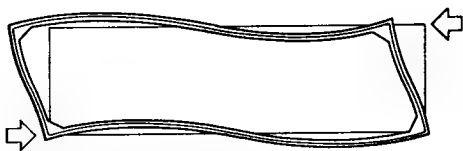
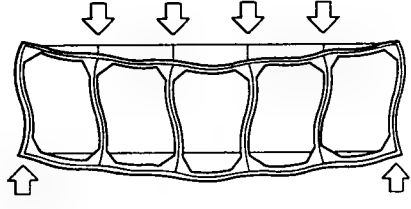
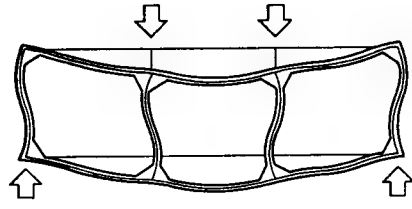
трехпанельная рама



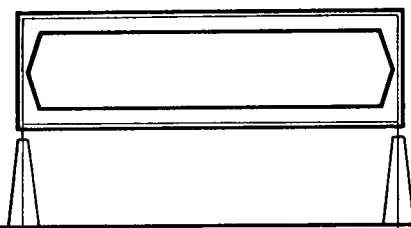
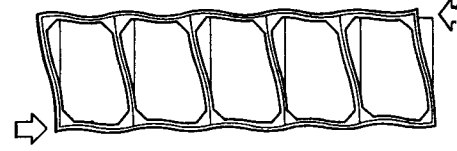
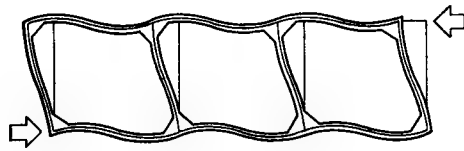
пятипанельная рама



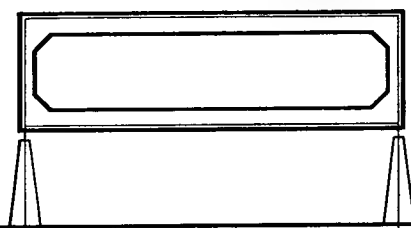
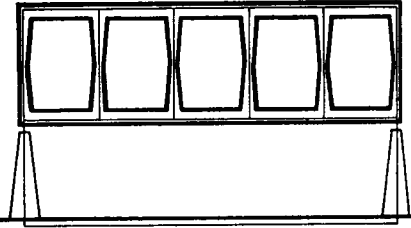
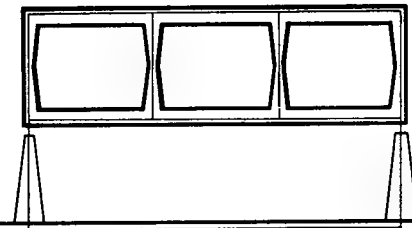
прогиб под вертикальной нагрузкой



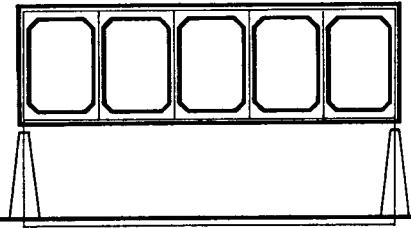
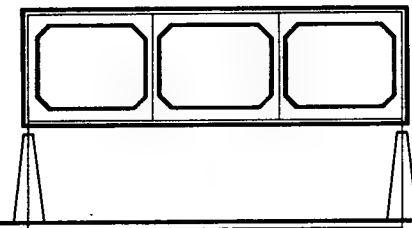
деформация под горизонтальной нагрузкой



форма несущей конструкции с акцентом на место наименьшей нагрузки на изгиб



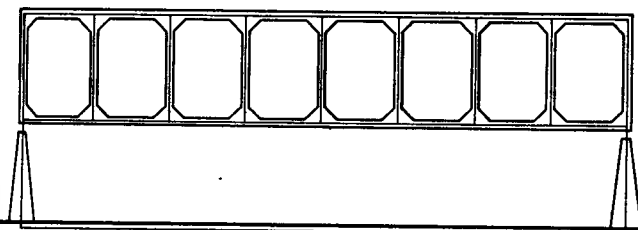
форма несущей конструкции с акцентом на жесткость уголка



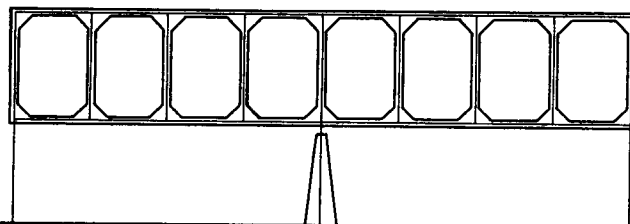
Вследствие прогиба ригеля концы опорных стоек поворачиваются в противоположном друг другу направлении. Благодаря этому вос-

принимается кручение в опоре и прогиб ограничивается. Эффективность повышается с увеличением количества стоек рамы (панелей).

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ДЕЛЕНИЕМ РАМЫ И МЕХАНИЗМОМ МНОГОПАНЕЛЬНОЙ РАМЫ

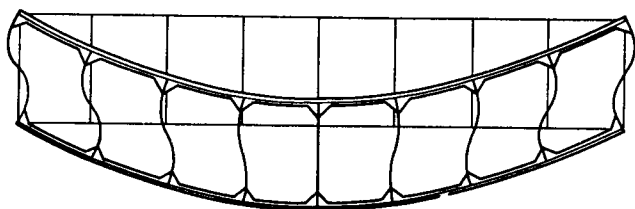


система несущих конструкций

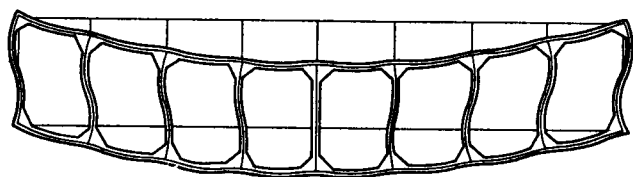
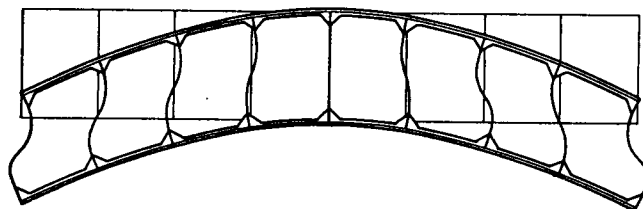


многопанельная рама на двух опорах

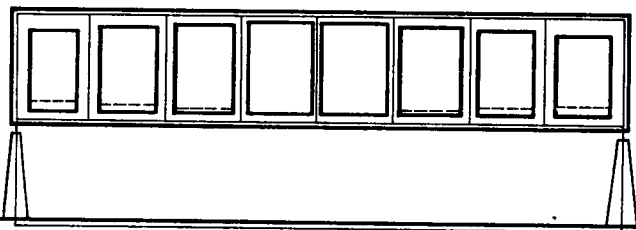
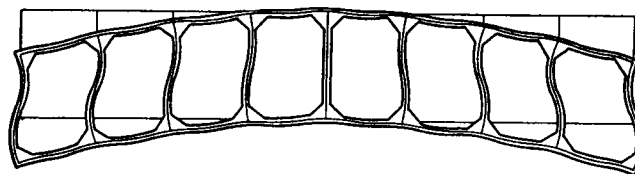
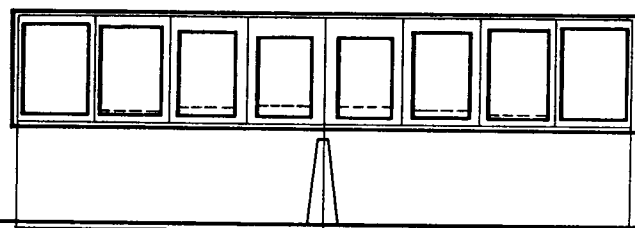
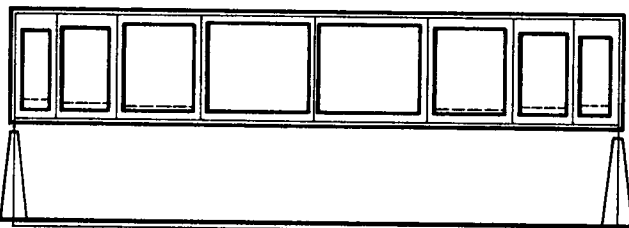
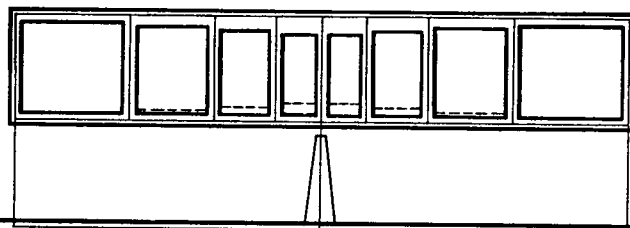
многопанельная рама на центральной опоре



деформация

система с опорами  
без жесткости на изгиб

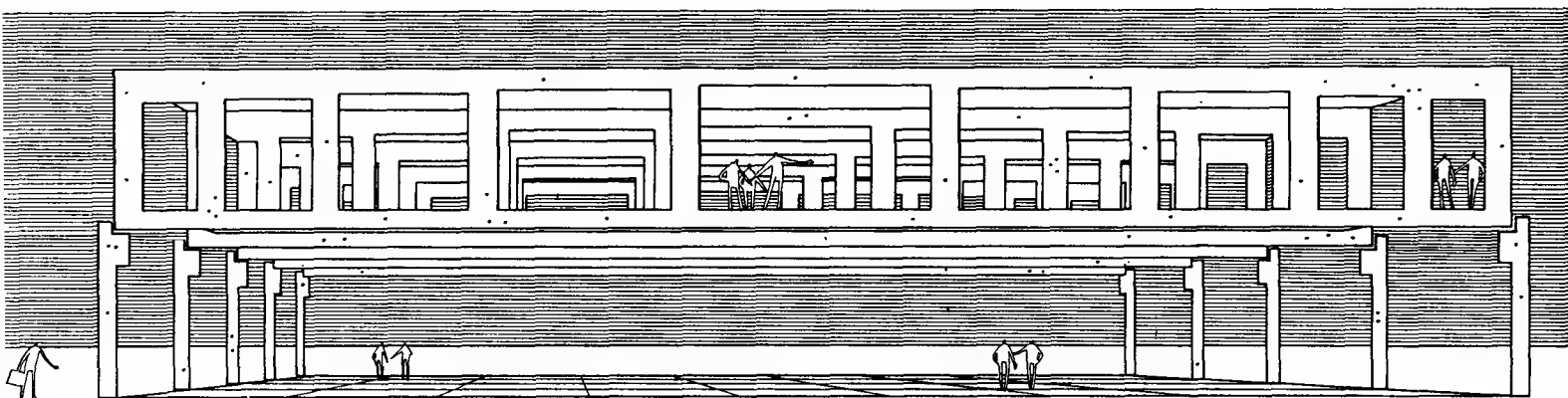
деформация

система с опорами,  
жесткими на изгибтипичная форма  
несущей  
конструкцииувеличение сечения стоек к опорам  
при одинаковой ширине панелейтипичная форма  
несущей  
конструкцииуменьшение размеров панелей к опорам  
при сохранении толщины стоек рамы

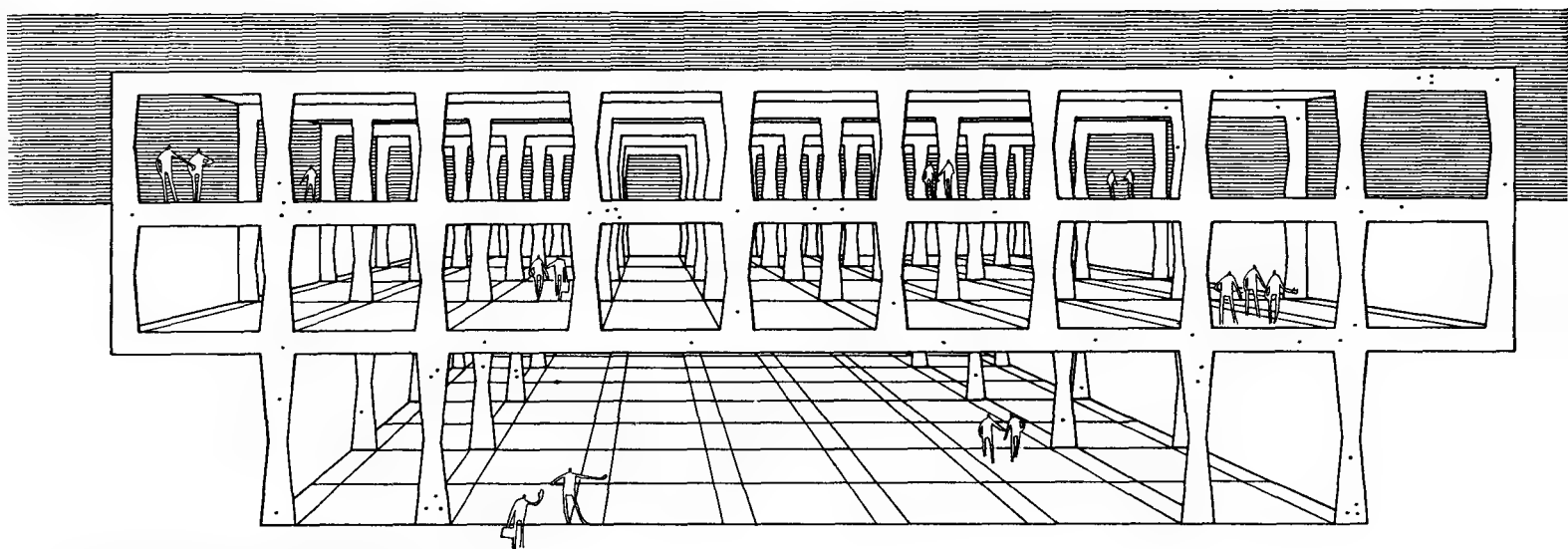
В соответствии с распределением срезающего усилия в неразрезной балке опоры очень по-разному испытывают нагрузки на

изгиб. Разница может быть компенсирована уменьшением панелей к опорам или увеличением сечения стоек рамы.

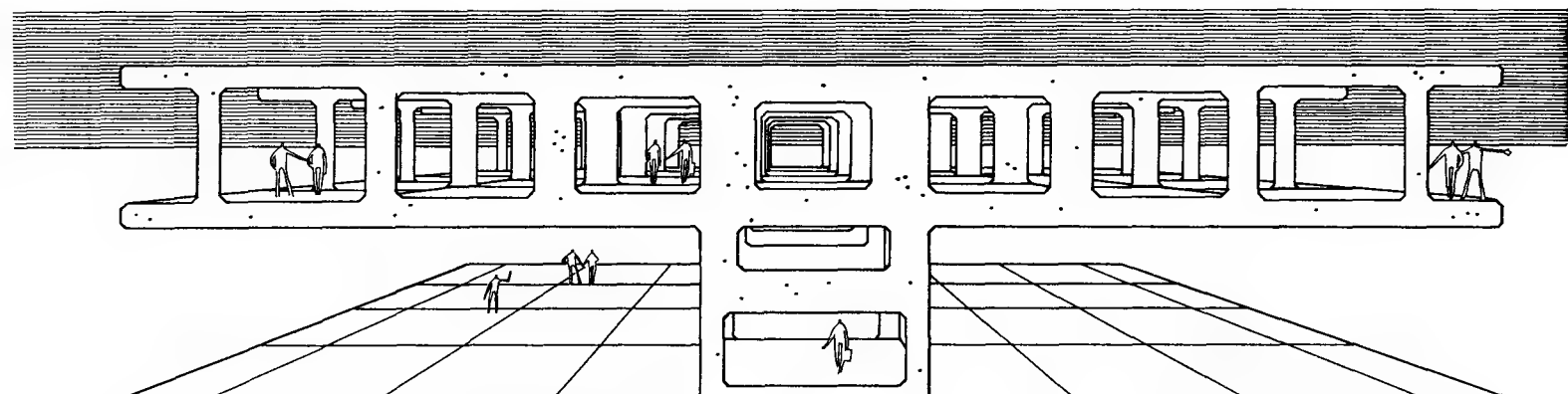
## БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ МНОГОПАНЕЛЬНЫХ РАМ



одноярусные многопанельные рамы  
на двух опорах

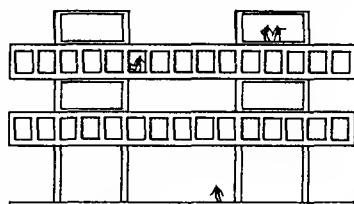
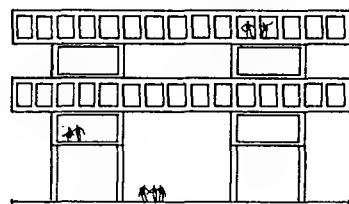
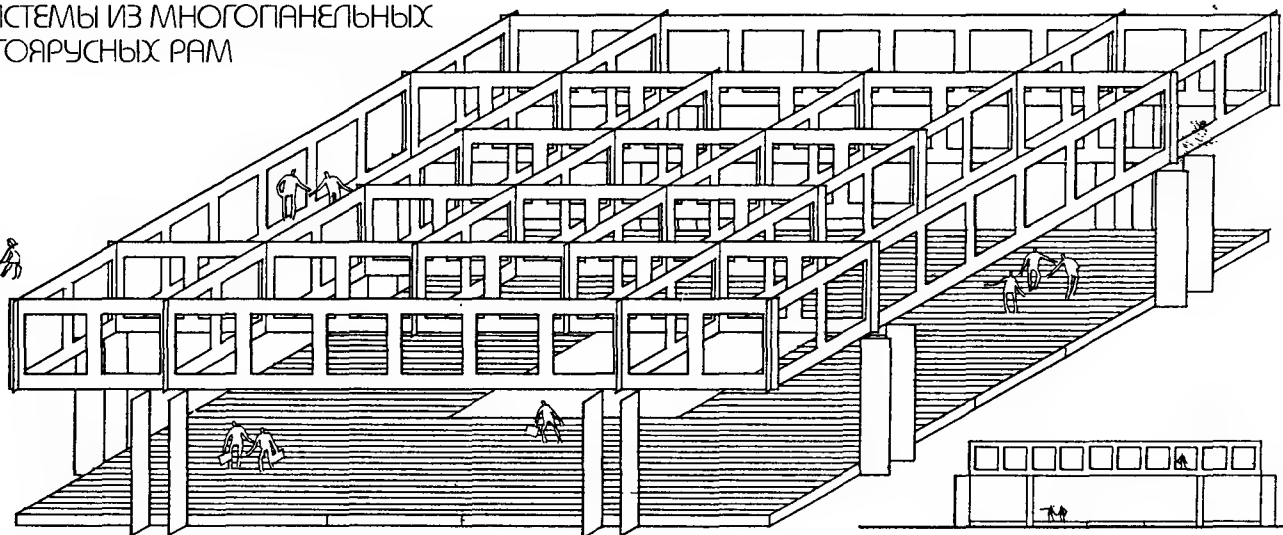


двухярусные многопанельные рамы  
с консолями с двух сторон

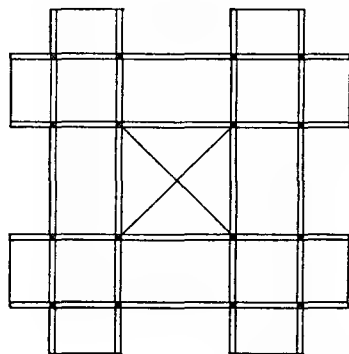
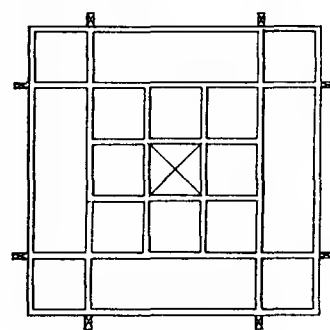


одноярусные многопанельные  
рамы на центральных опорах

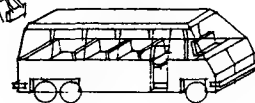
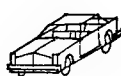
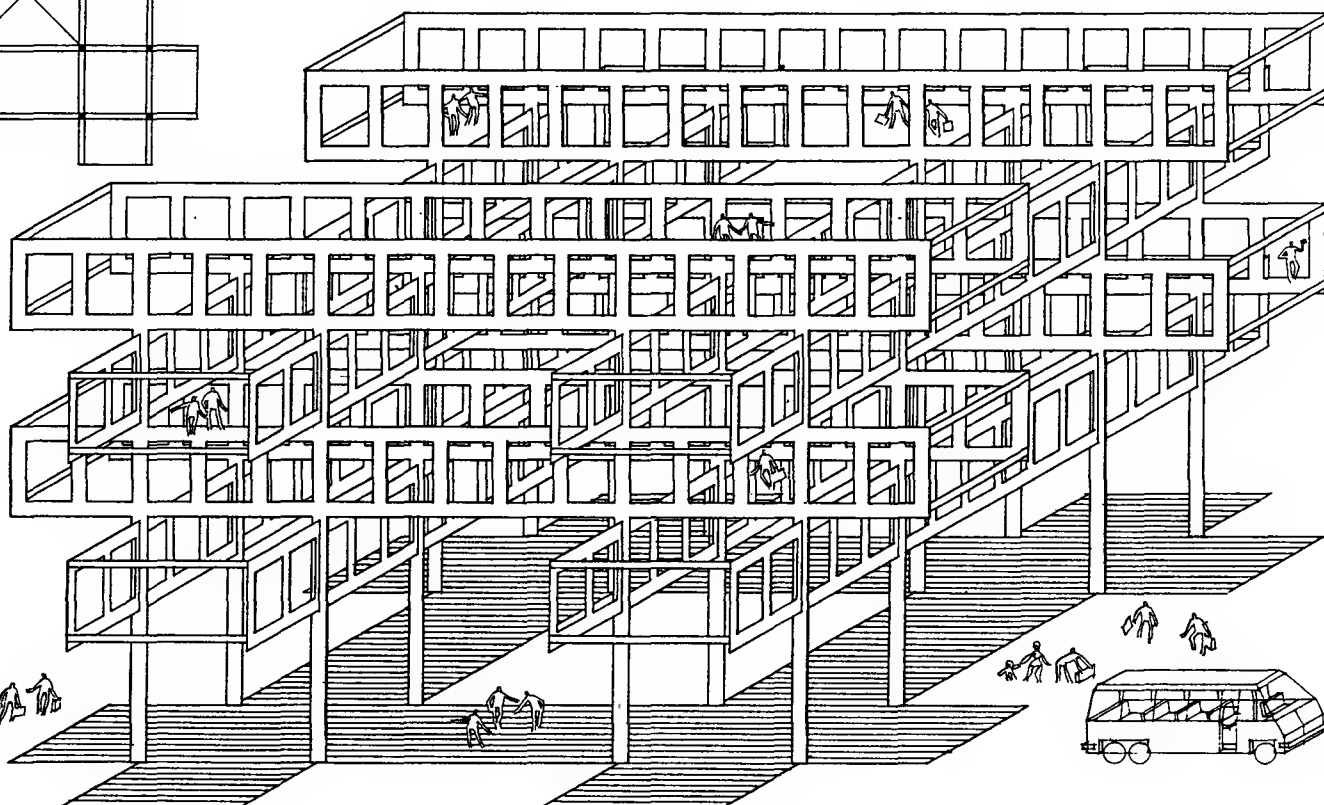
ДВУХОСНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗ МНОГОПАНЕЛЬНЫХ  
ОДНО- И МНОГАЯРУСНЫХ РАМ



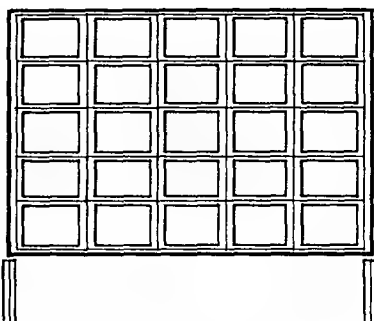
центральная решетка из  
многопанельных неразрез-  
ных рам



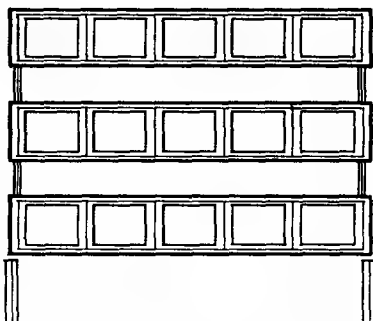
перекрестное штабелиро-  
вание неразрезных много-  
панельных рам



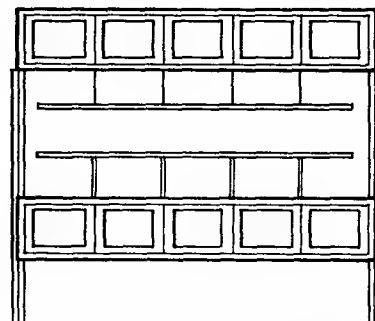
## МНОГОЯРУСНЫЕ СИСТЕМЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МНОГОПАНЕЛЬНЫХ РАМ



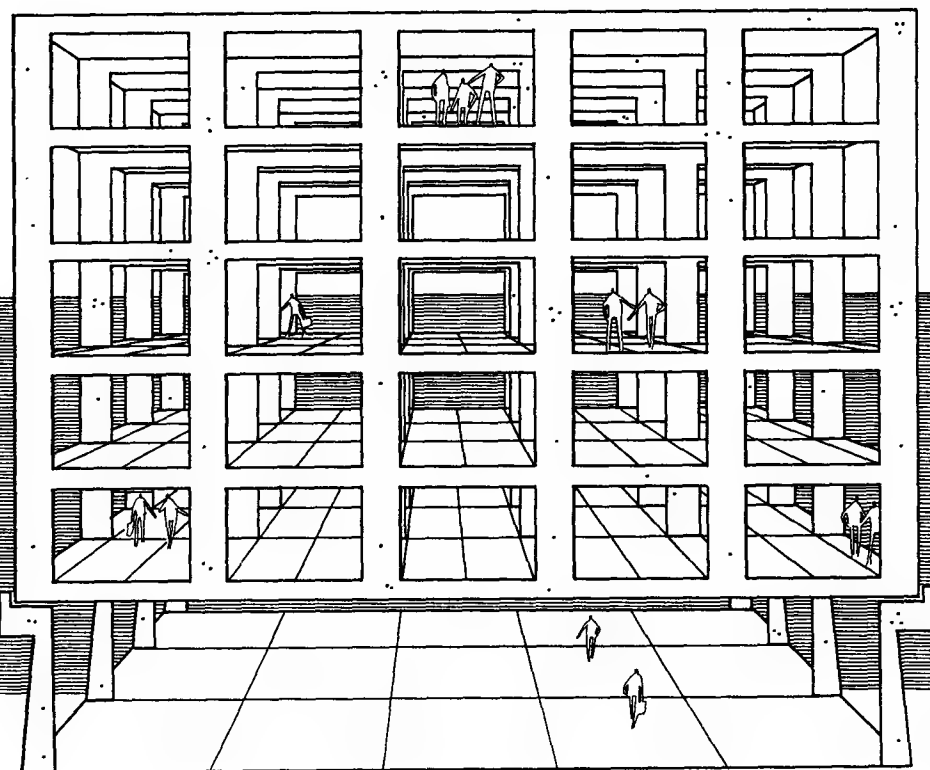
многоярусная несущая конструкция  
для всех этажей



одноярусная несущая конструк-  
ция для двух этажей

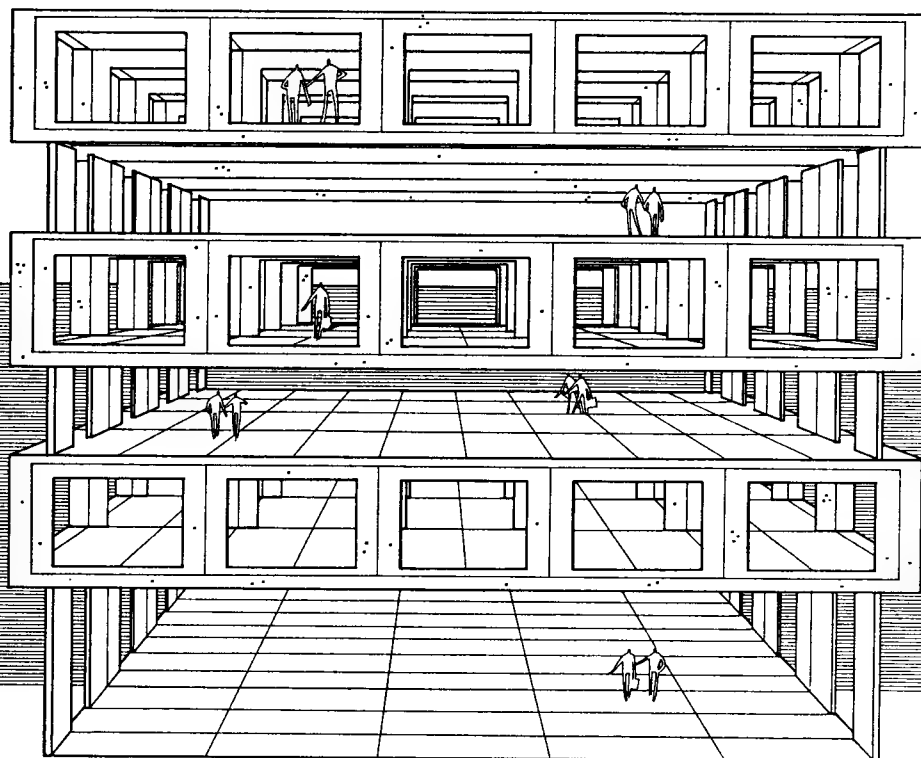


одноярусная несущая конструк-  
ция для трех этажей

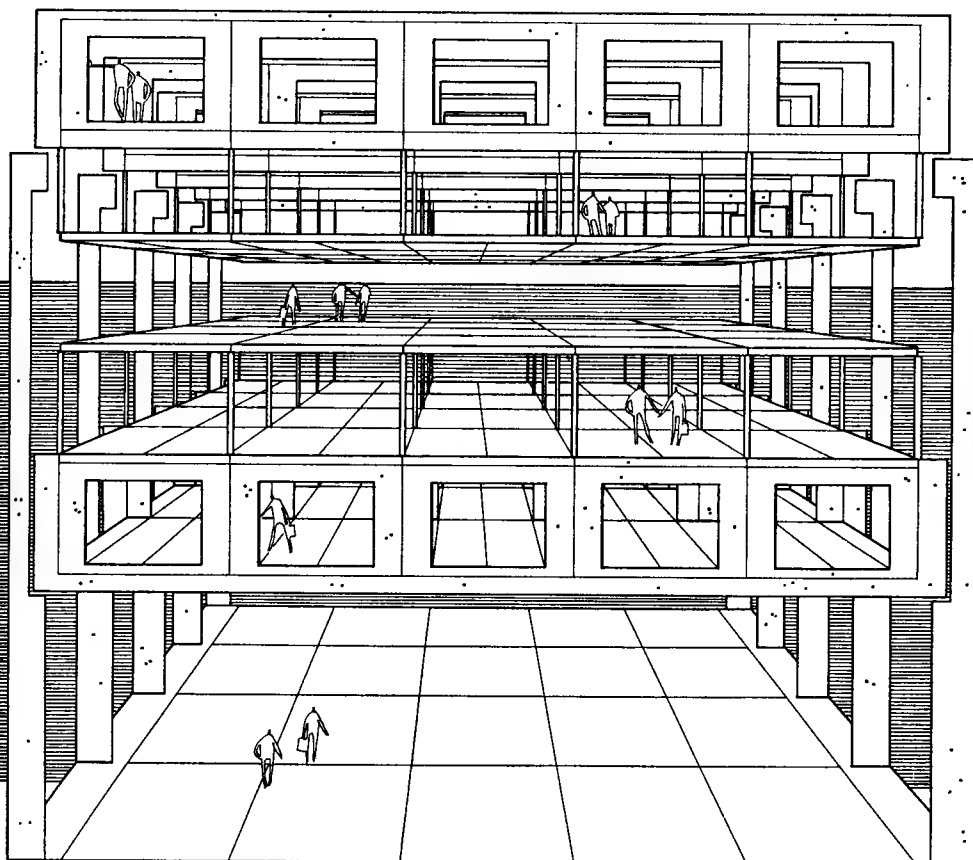


многопанельная рама, проходящая через  
все этажи





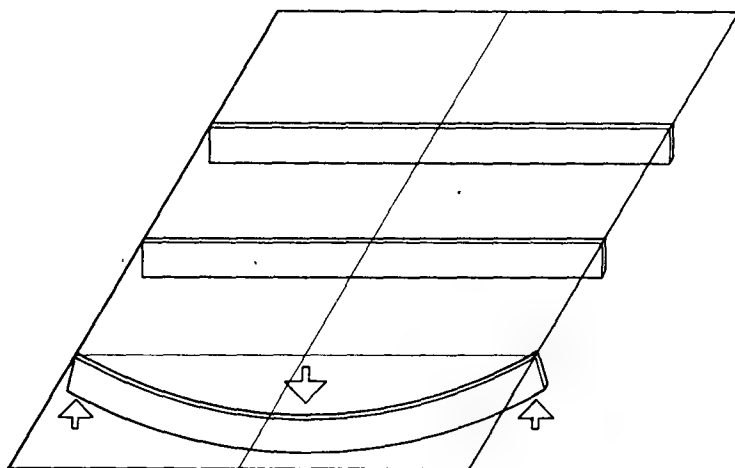
одноярусная многопанельная рама в качестве несущей конструкции для двух уровней



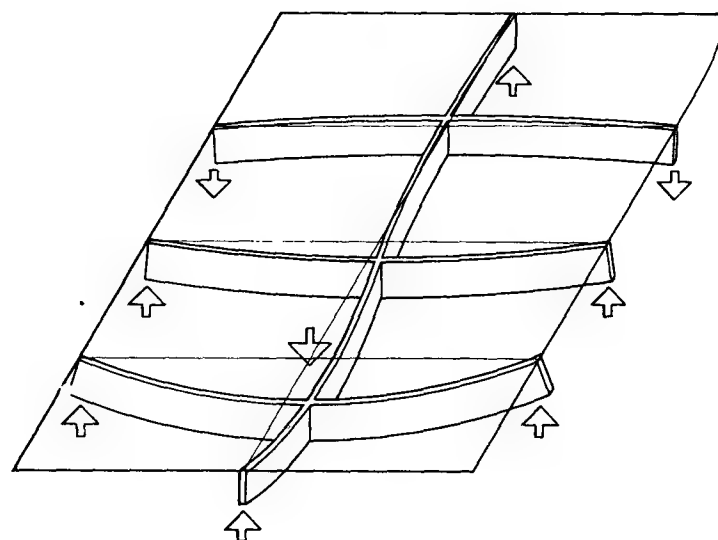
одноярусная многопанельная рама в качестве несущей конструкции для трех уровней

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ БАЛКОЙ И БАЛОЧНОЙ РЕШЕТКОЙ

отвод нагрузки по двум осям

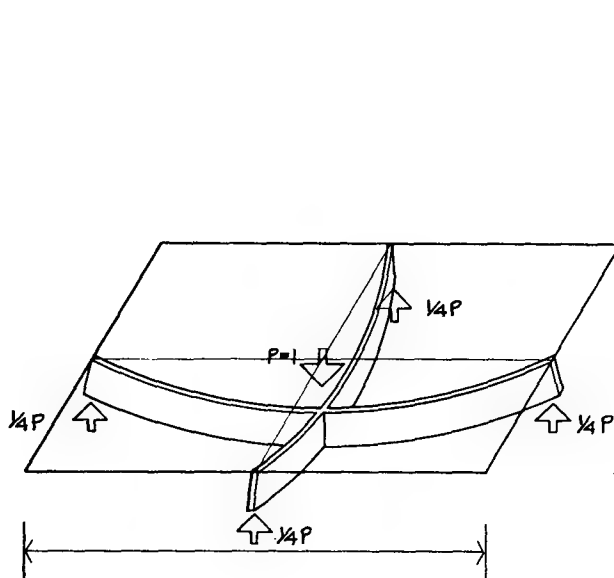


В системе параллельных балок деформируется соответственно только балка, находящаяся под нагрузкой. Прочие параллельные балки не участвуют в механизме сопротивления отдельной нагрузке.

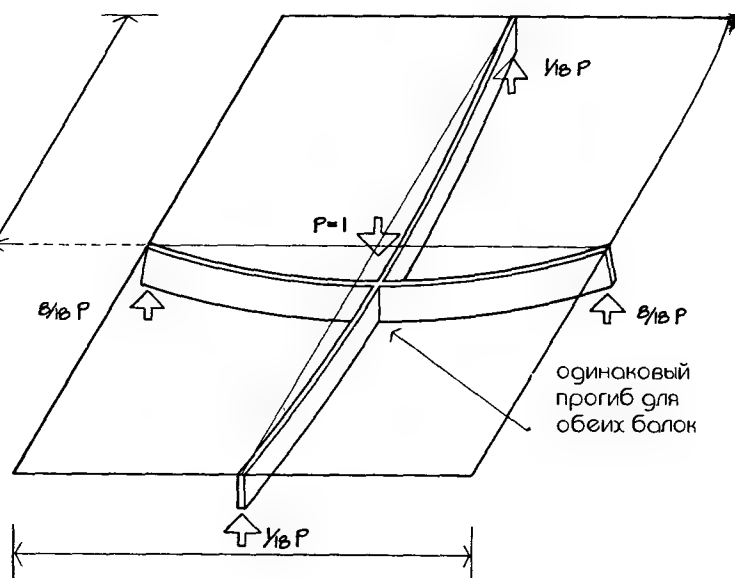


Благодаря вставке поперечной балки, расположенной под прямым углом к параллельным балкам, часть нагрузки отводится на другие параллельные балки. Вся система принимает участие в механизме сопротивления отдельной нагрузке.

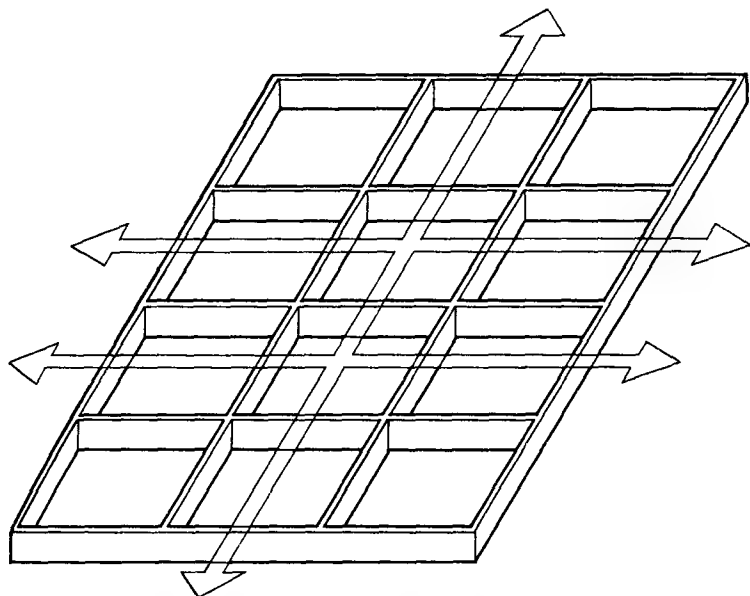
## ВЛИЯНИЕ ДЛИН СТОРОН НА ВЕЛИЧИНУ ДВУХОСНОГО ОТВЕДЕНИЯ НАГРУЗКИ



Каждая из двух перекрещивающихся под прямым углом идентичных балок отводит половину единичной нагрузки. Таким образом, усилия опор составляют каждое по  $1/4$  от всей нагрузки.

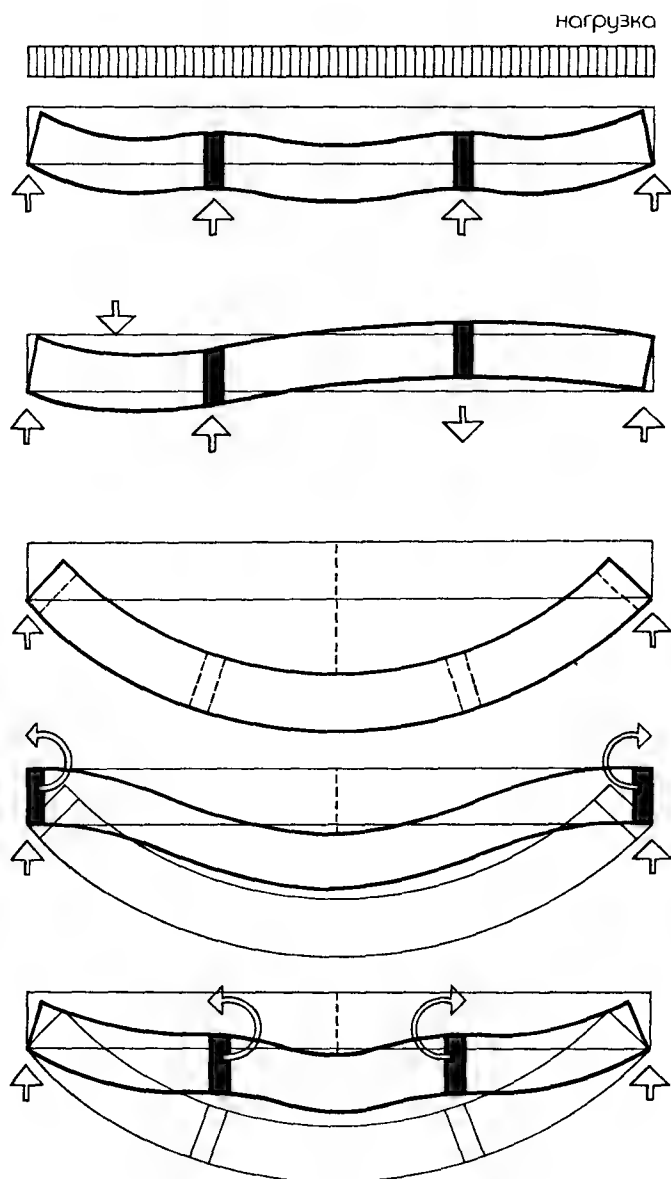


Из двух балок одинакового поперечного сечения, но различной длины более жесткая (потому что короче) выдерживает основную нагрузку. При соотношении сторон  $1:2$  жесткость балок соотносится как  $1:8$ , т. е. короткая балка воспринимает  $8/9$  нагрузки.



### ДВУХОСНОЕ ОТВЕДЕНИЕ НАГРУЗКИ У ЖЕСТКО СОЕДИНЕННОЙ РЕШЕТКИ

Оба ряда балок имеют приблизительную жесткость. нагрузка отводится с помощью механизма изгиба по двум осям. При единичной нагрузке из-за взаимопроникновения также деформируются балки, и не находящиеся под нагрузкой. Вследствие этого повышается сопротивляемость.



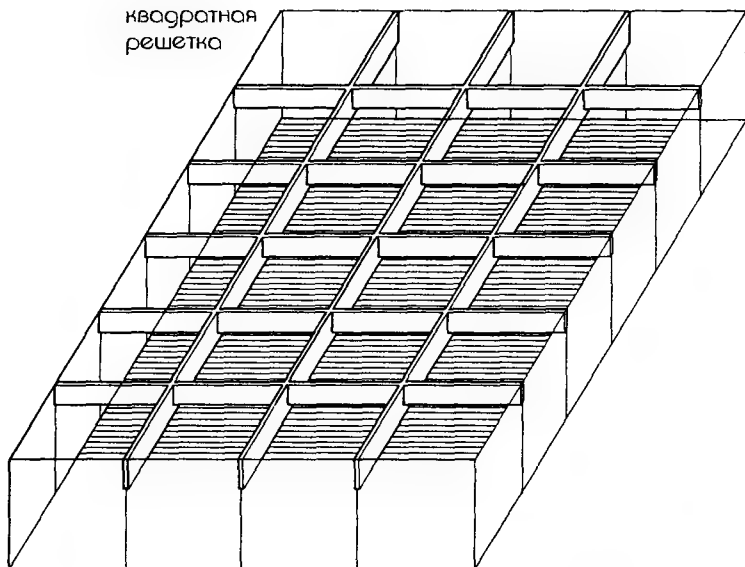
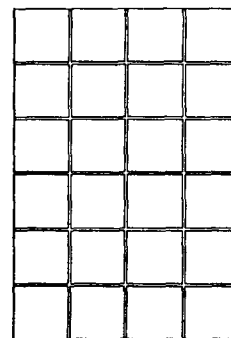
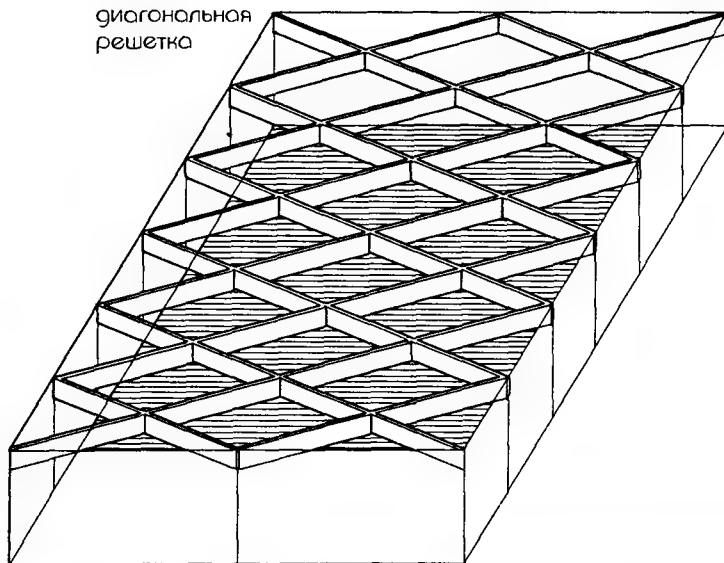
### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ НАД ГИБКИМИ ОПОРАМИ

Отдельная балка в балочной решетке ведет себя, как неразрезная балка с гибкими промежуточными опорами. При односторонней нагрузке может возникнуть изгиб, направленный вверх (негативный).

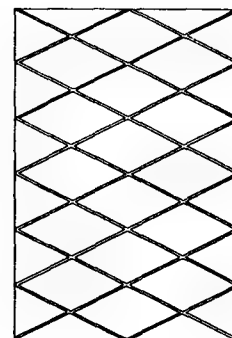
### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСИЛИЕ ВСЛЕДСТВИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУЧЕНИЮ

Из-за жестких точек соединения крайняя балка тоже повернется при прогибе. Сопротивление кручению крайней балки действует как защемление и уменьшает прогиб поперечной балки.

Из-за жестких точек пересечения прогиб балки в поперечном сечении вызывает соответственно кручение поперечного сечения, находящегося под прямым углом к ней. Благодаря этому активизируется последующий механизм сопротивления.

БАЛОЧНАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ ПЛАНА СО СТОРОНАМИ  
НЕОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫквадратная  
решеткадиагональная  
решетка

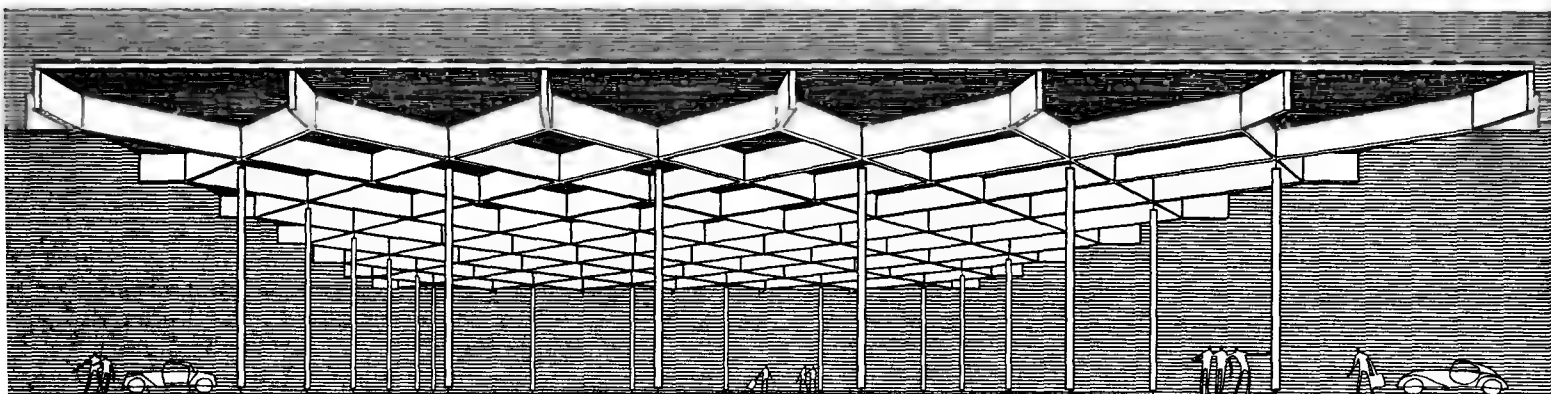
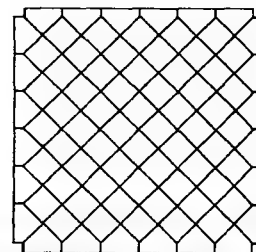
квадратный растр



диагональный растр

При прямоугольных планах, у которых одна сторона существенно длиннее другой, продольные балки из-за уменьшающейся жесткости теряют эффективность. Чтобы гарантировать равномерное отведение нагрузки по двум осям, они должны соответственно укрепляться, при соответствии сторон 1:2 – в восемь раз.

Диагональная решетка устраняет недостаток балок неодинаковой длины при удлиненных планах. Кроме того, подобно защемлению достигается дополнительная жесткость вследствие коротких пролетов на углах.

диагональный квадратный  
растр

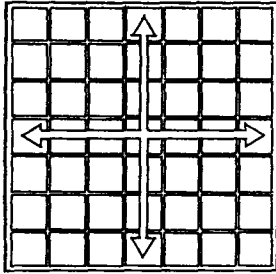
## ОТДЕЛЬНЫЕ ТЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМ ИЗ БАЛОЧНЫХ РЕШЕТОК

Отказавшись от проектных обязательств по конфигурации плана и расположению опор, разработчик балочных ростверков занимается тремя решениями формообразования:

1. Геометрия расположения балок;
2. Отношение решетки к замыкающему контуру;
3. Структура строения балочной решетки.

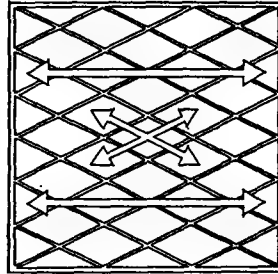
балочные ростверки соответственно классифицируются и определяются

## 1 Распространенная геометрия балочных решеток



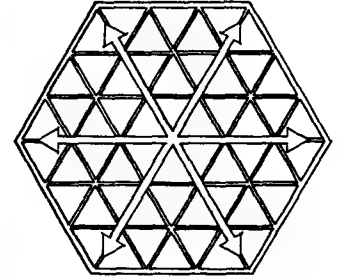
Ортогональная решетка

- двухосное разведение нагрузки
- квадратный план по четырем опорам



Диагональная решетка

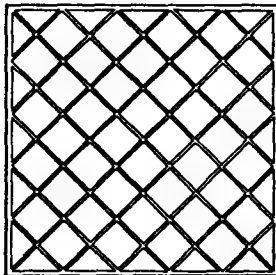
- одноосное разведение нагрузки
- вытянутый в длину прямоугольный план с расположением опор с двух сторон



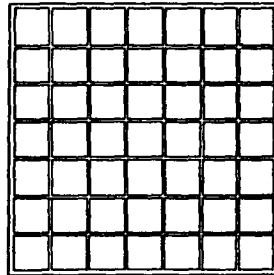
Треугольная решетка

- трехосное разведение нагрузки
- концентрический план с расположением опор по всем сторонам

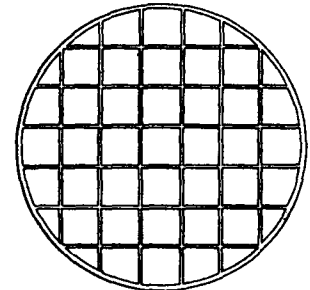
## 2 Отношение балочной решетки к замыкающему контуру



Диагональная решетка

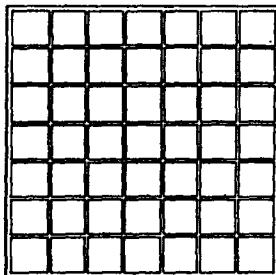


Конгруэнтная решетка

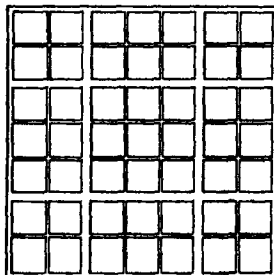


Секционная решетка

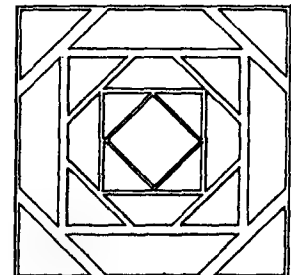
## 3 Структура строения балочной решетки



Гомогенная решетка = однородное строение

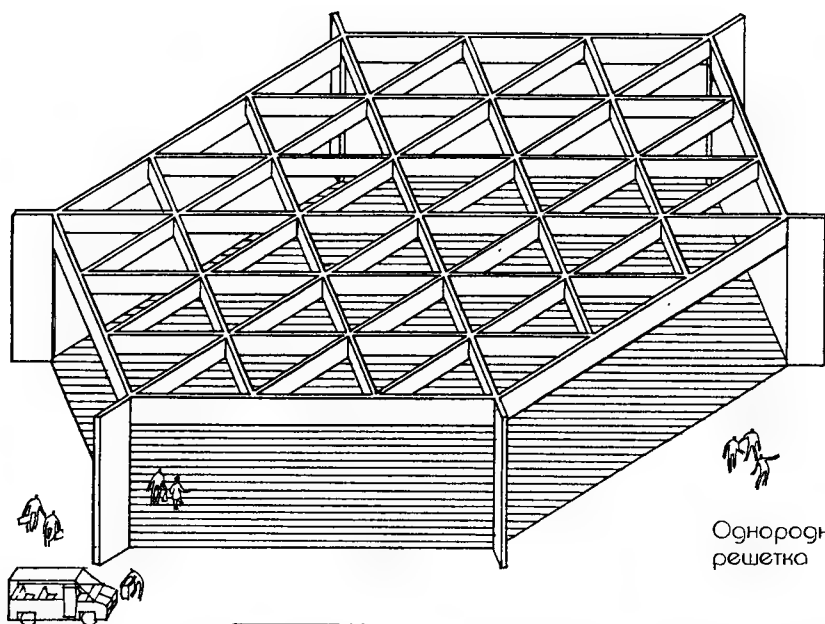
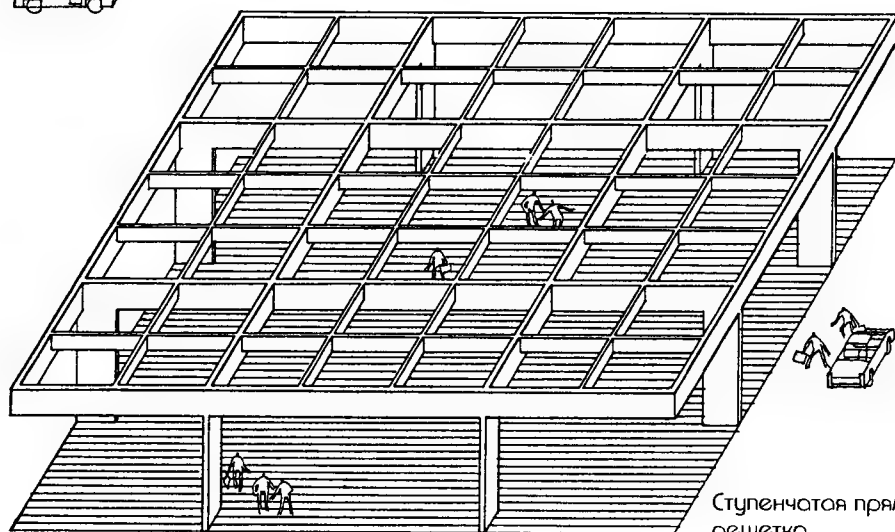
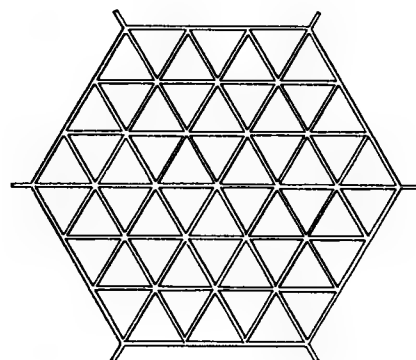
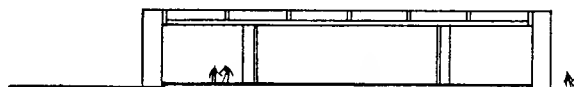
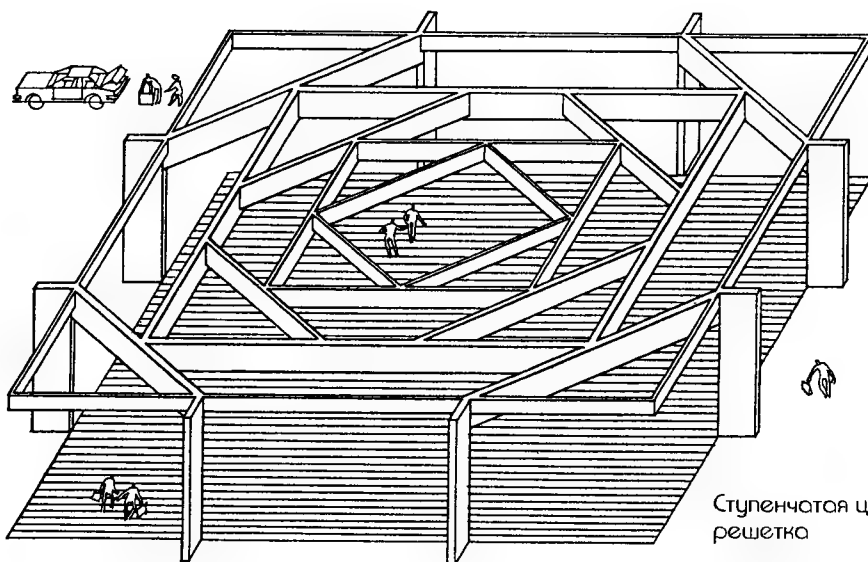
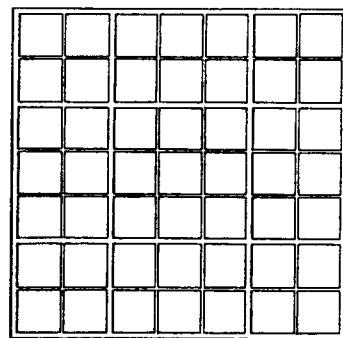
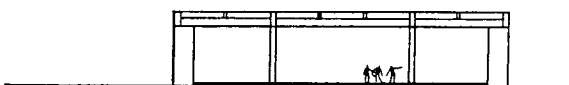
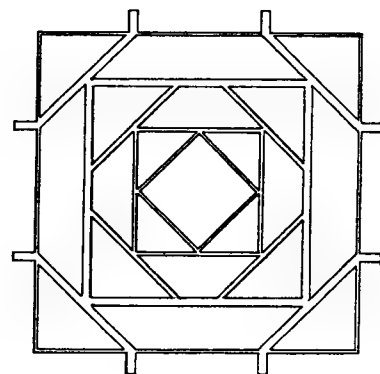
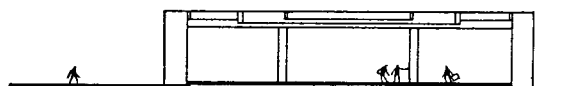


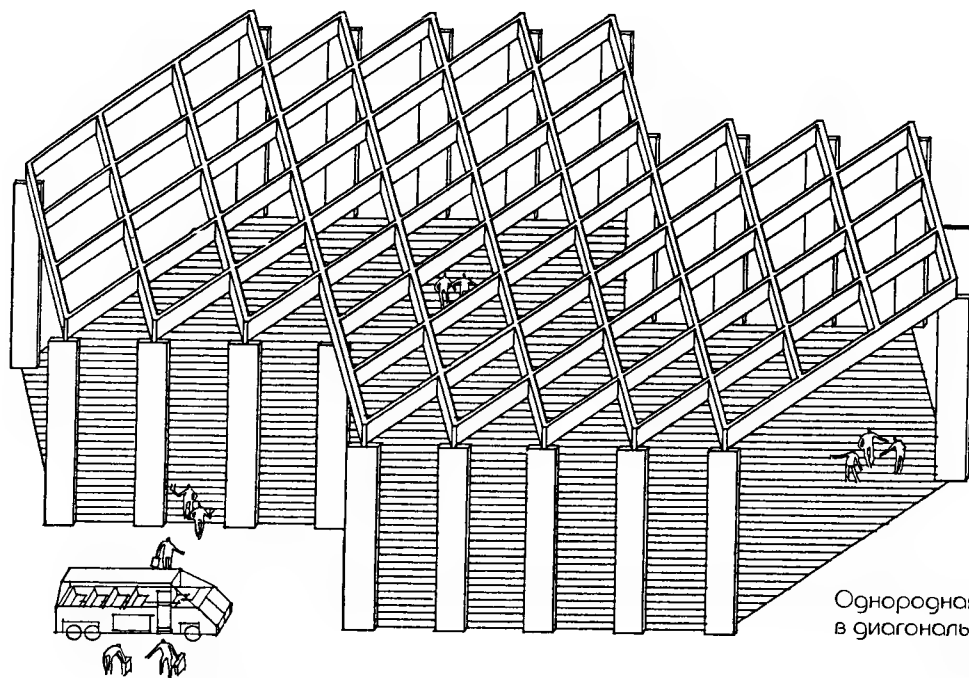
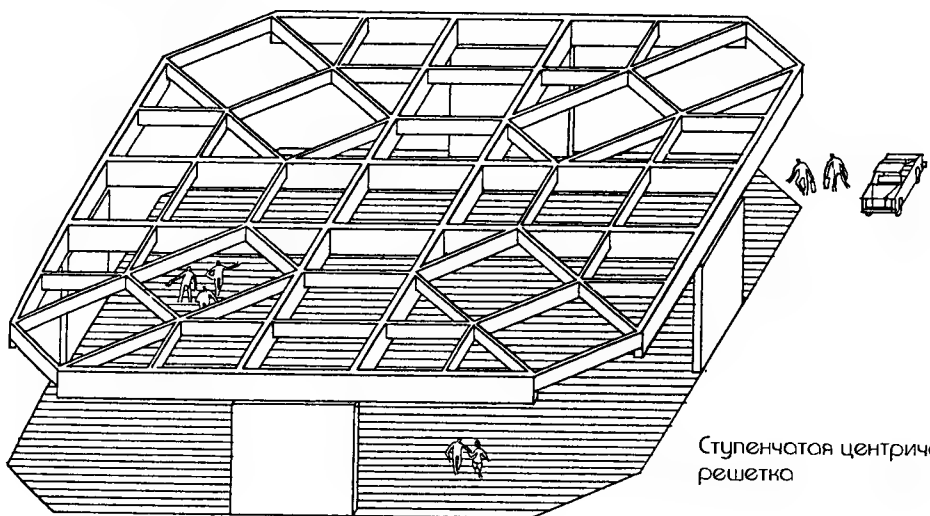
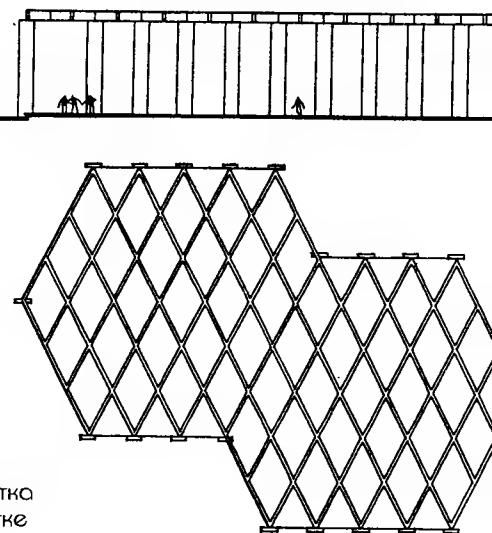
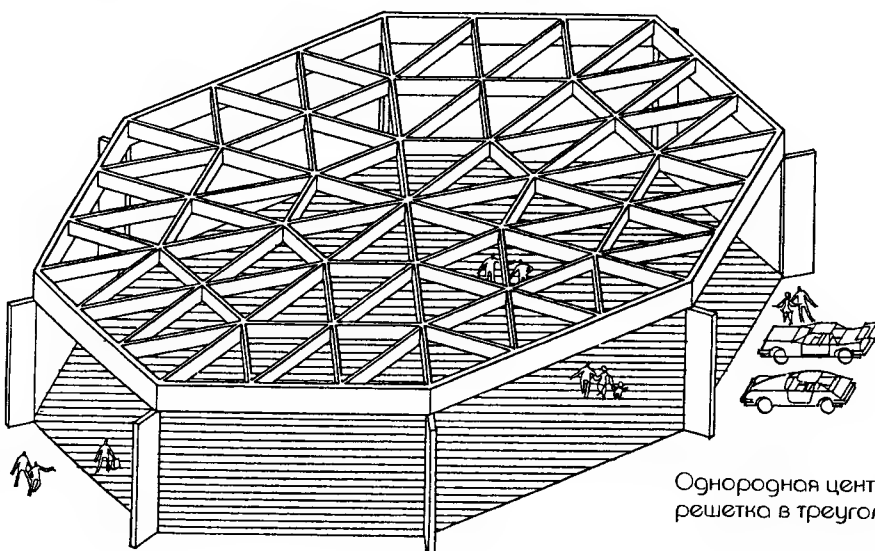
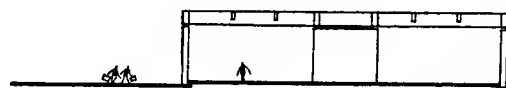
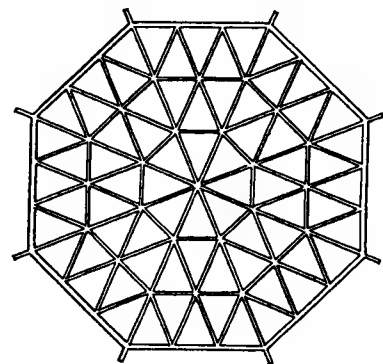
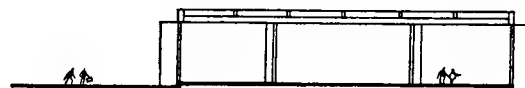
Ступенчатая решетка = основная и дополнительная решетки



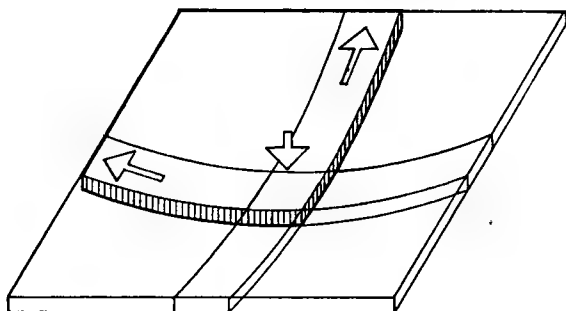
Центрическая решетка = ориентированное к центру строение решетки

## СИСТЕМА БАЛОЧНЫХ РЕШЕТОК СО СПЛОШНОЙ СТЕНКОЙ

Однородная треугольная  
решеткаСтупенчатая прямоугольная  
решеткаСтупенчатая центрическая  
решетка

Однородная решетка  
в диагональной сеткеСтупенчатая центрическая  
решеткаОднородная центрическая  
решетка в треугольной сетке

## НЕСУЩАЯ МЕХАНИКА ПЛОСКОЙ ОПЕРТОЙ С ЧЕТЫРЕХ СТОРОН ПЛИТЫ

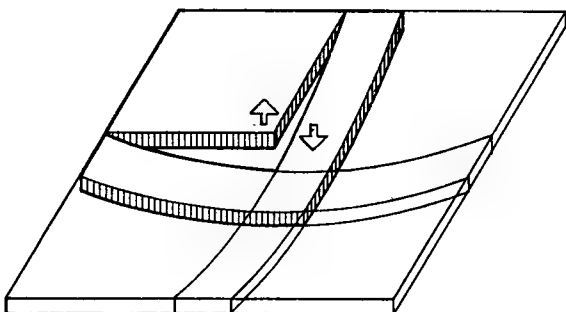


### Действие балки

Благодаря механике изгиба (комбинация растягивающего, сжимаю-

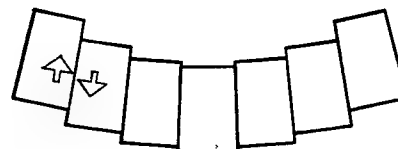


щего и срезающего действия) нагрузка отводится на опоры так же, как и в балках.

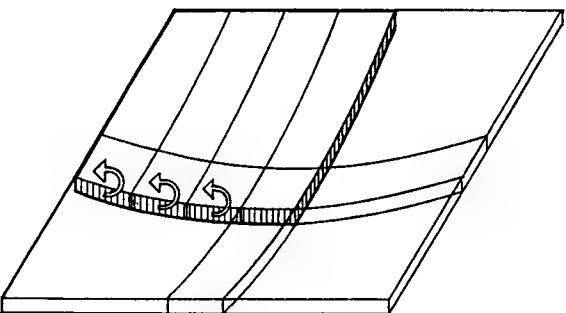


### Общая реакция системы

Посредством вертикальных срезающих усилий нагрузка отводится дальше с прогнувшихся полос на соседние. Вследствие

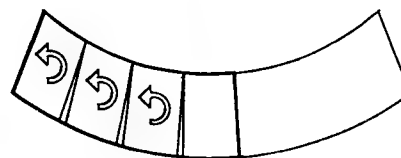


этого вся система включается в механику сопротивления, при точечной нагрузке происходит то же самое.

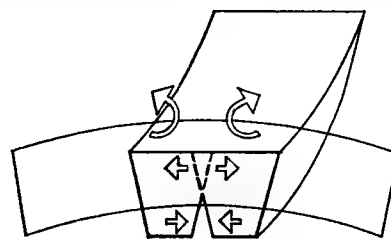
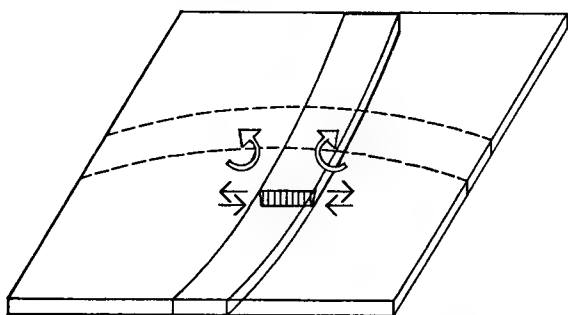


### Механика сил кручения

Вследствие прогиба отдельные полосы плиты поворачиваются перпендикулярно направлению сопро-



тивления. Благодаря жесткости кручения может отводиться на опоры до половины нагрузки.



### Отрицательный поперечный изгиб

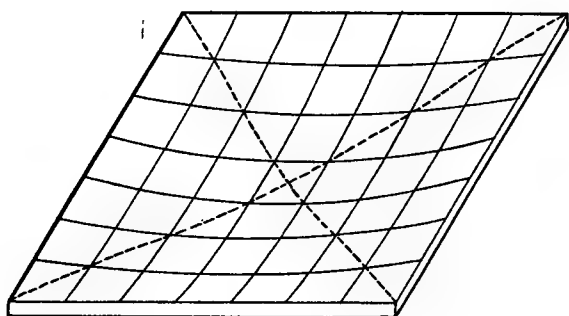
Из-за постоянства объема материала прогиб полосы плиты в поперечном сечении ведет к увеличению зоны сжатия и уменьшению

зоны расширения. Этот процесс приводит в действие обратный крутящий момент в поперечном сечении.

### Процесс защемления по диагоналям

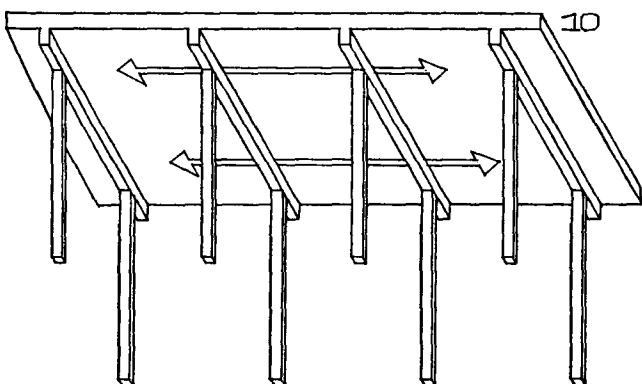
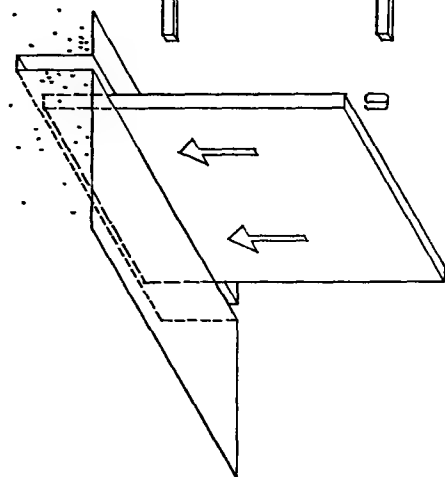
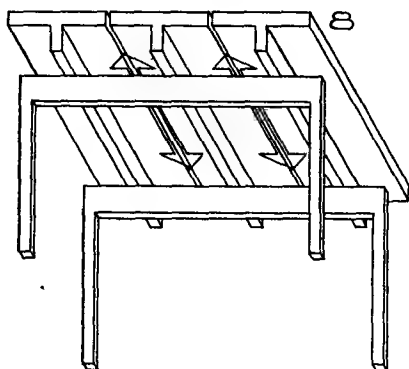
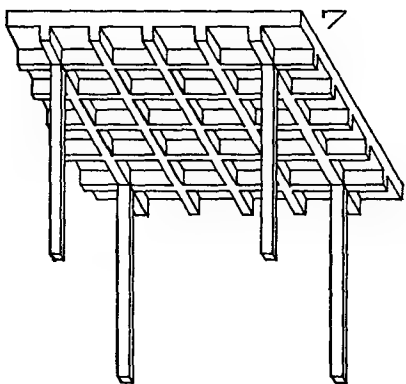
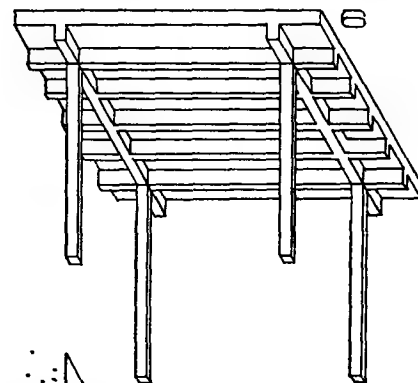
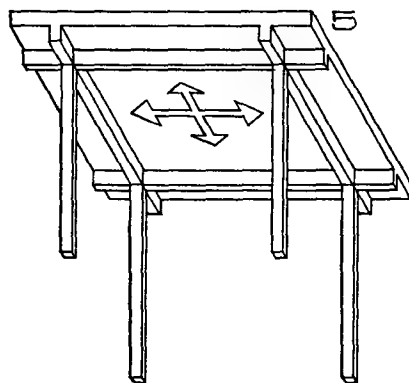
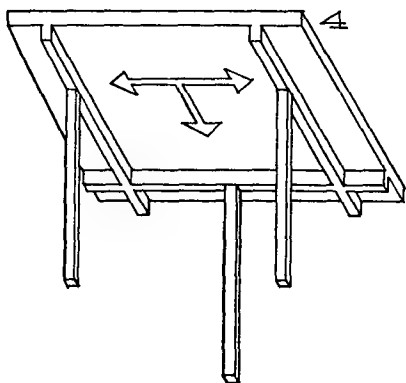
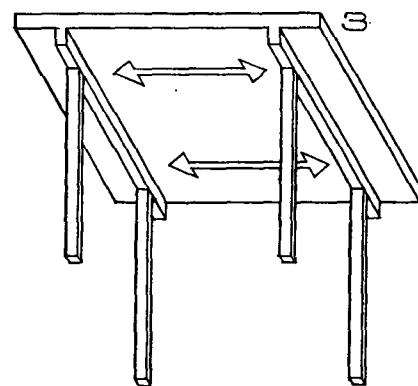
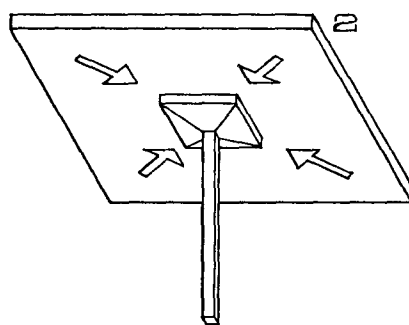
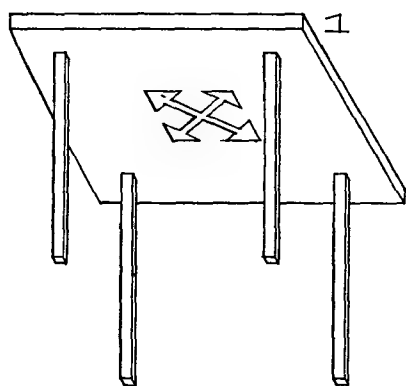
Угловые зоны плиты вследствие двух сливающихся краевых опор демонстрируют повышенную жесткость. Поэтому диагональные полосы плиты на концах не могут

свободно поворачиваться над опорами. Они ведут себя, как защемленная балка с обратным прогибом на концах и с повышенными несущими возможностями.



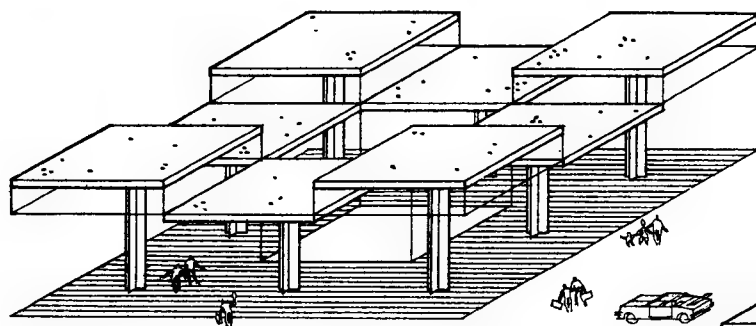


## СИСТЕМЫ ИЗ ПЛИТ = ОТВЕДЕНИЕ НАГРУЗКИ И ОПТИМИЗАЦИЯ

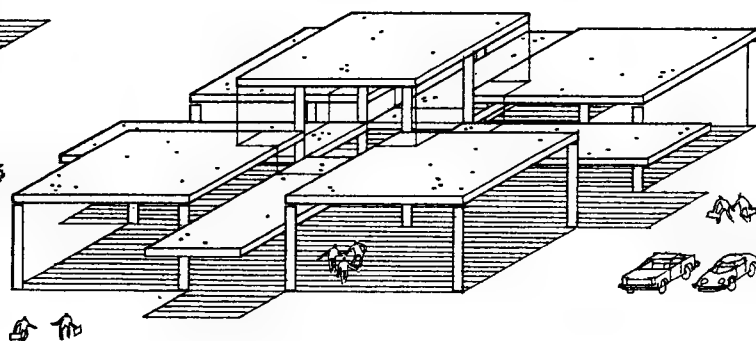


- 1 Плоская, перекрестно напряженная плита/покрытие без прогонов
- 2 Плита, опертая в одной точке/грибовидное покрытие с капителью
- 3 Плита, опертая с двух сторон/напряженная по одной оси (соотв. армированная) плита
- 4 Плита, опертая с трех сторон
- 5 Плита, опертая с четырех сторон/крестообразно напряженная (армированная) плита
- 6 Ребристое покрытие / ребристая плита
- 7 Кессонное покрытие
- 8 Плита-балка (Т-образная)
- 9 Консольная плита / защемленная плита
- 10 Многопролетная плита

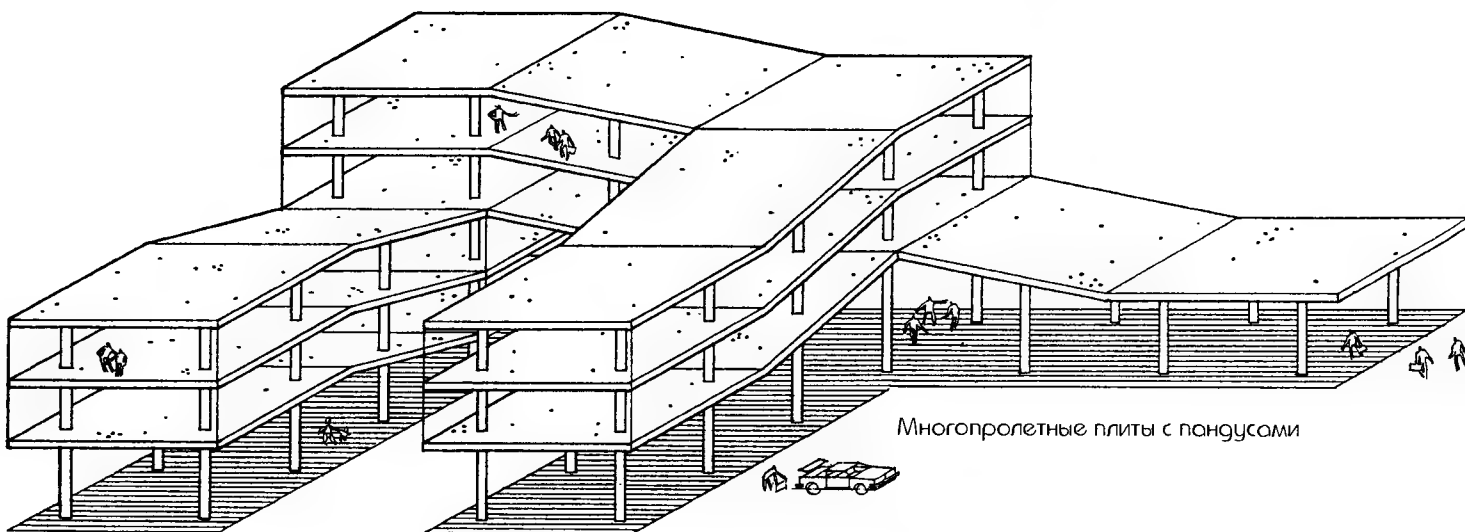
## ПРИМЕРЫ СИСТЕМ НЕСУЩИХ ПЛИТ



Отдельные плиты с центральной опорой

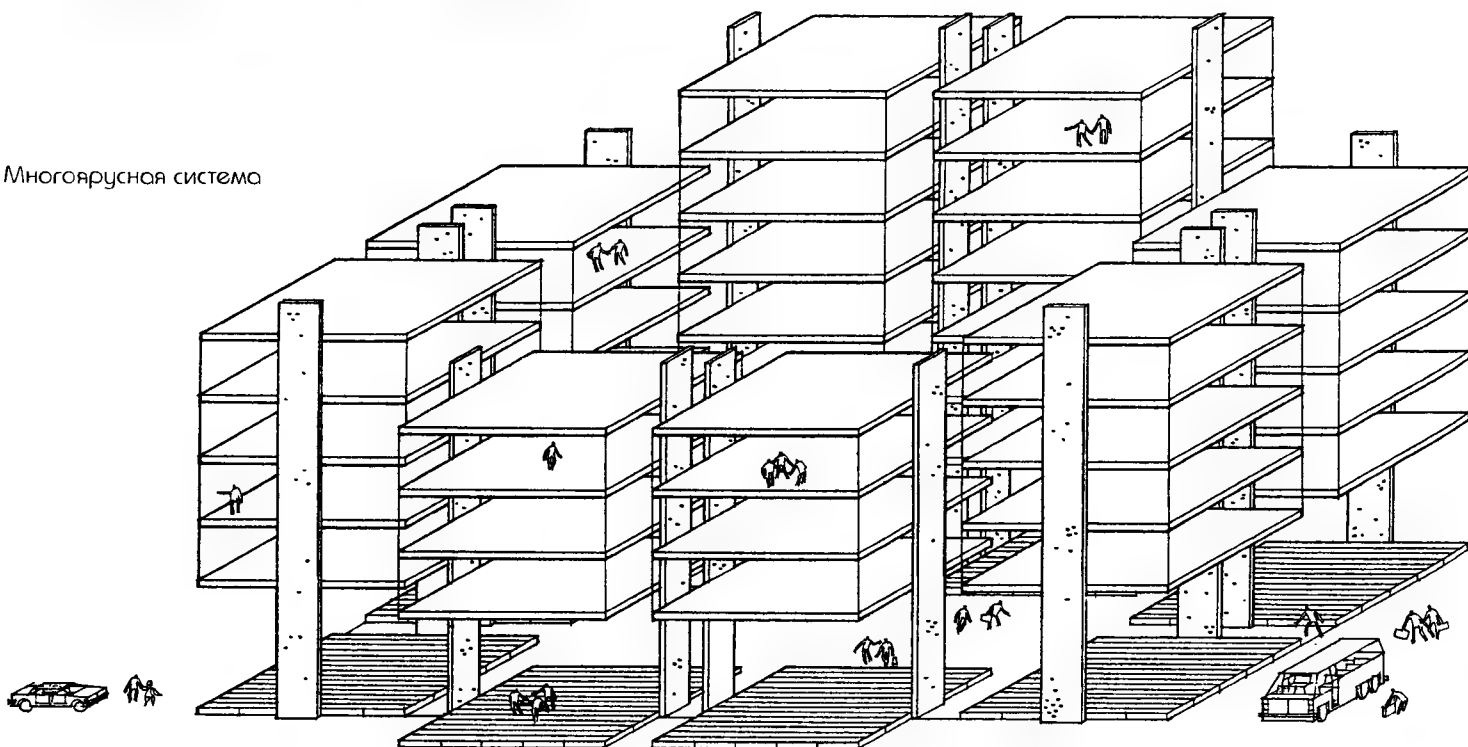


Отдельные плиты с опорами по углам

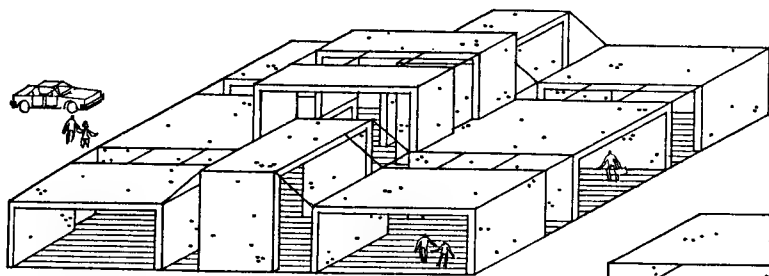


Многопролетные плиты с пандусами

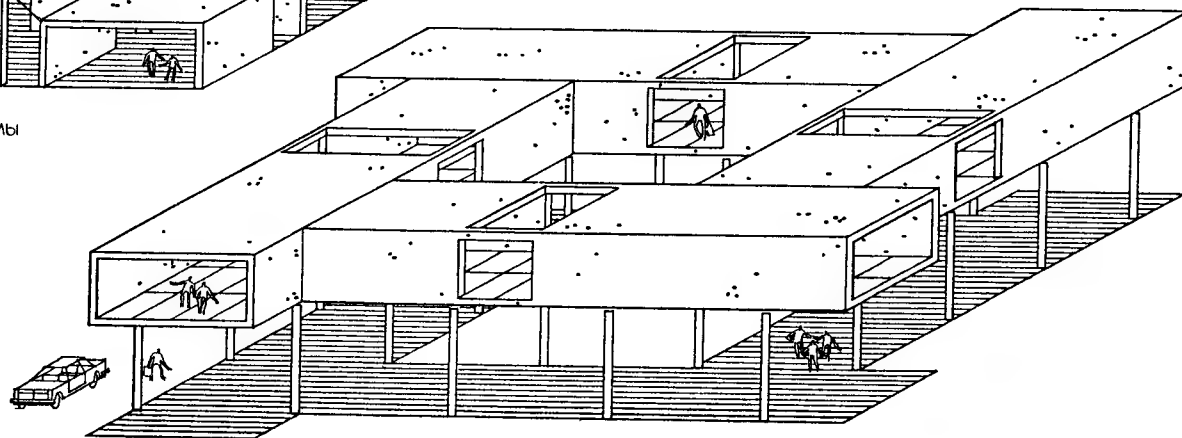
Многоярусная система



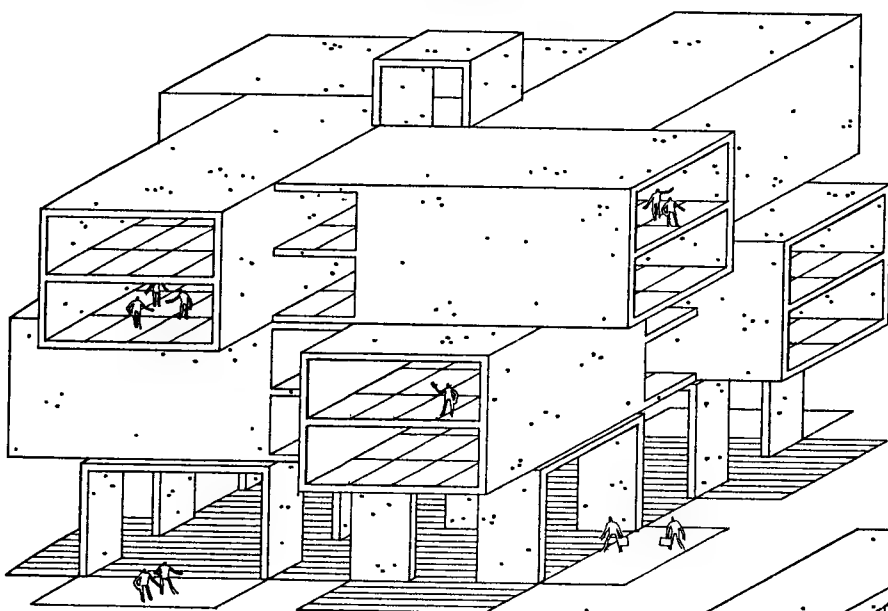
## ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ПАНЕЛЬНЫХ РАМ



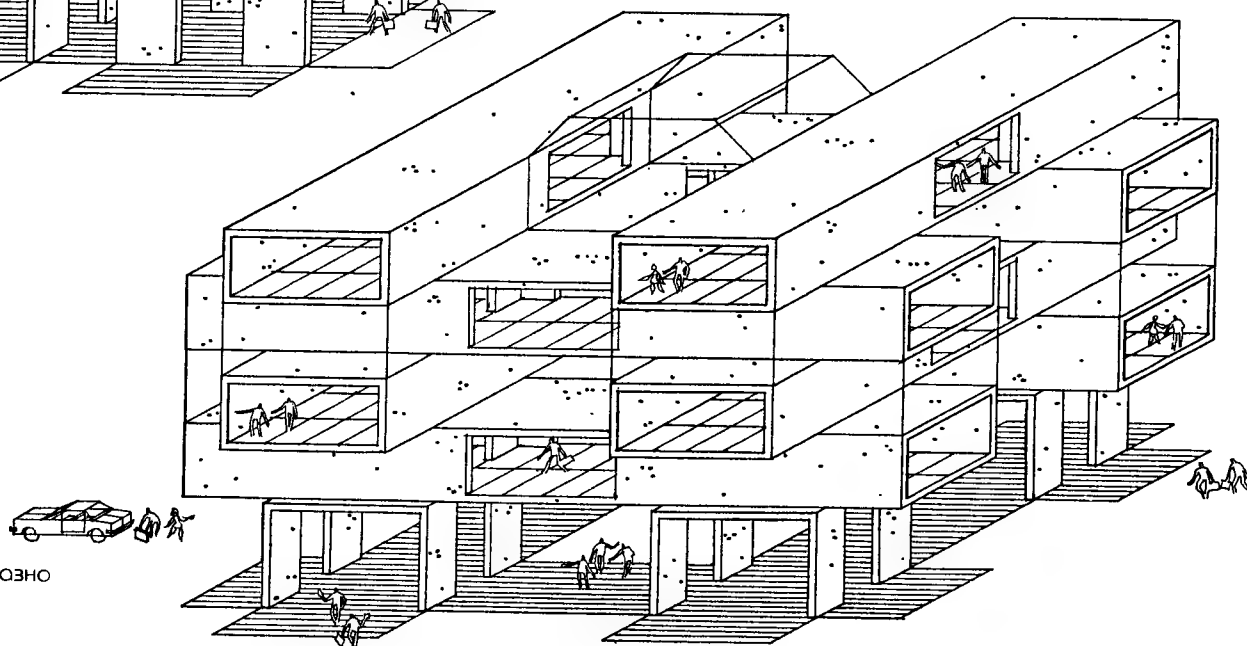
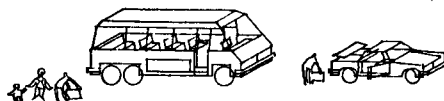
Открытые панельные рамы



Закрытые панельные рамы (объемный блок)



Многоэтажные панельные рамы

Сложенные крестообразно  
панельные рамы

# **АКТИВНЫЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

**4**

Ограниченные, определенные по форме поверхности являются инструментом и критерием определения пространства. Поверхности в пространстве разделяют это пространство и, ограничивая его, образуют новое пространство.

Поверхности – это самое эффективное средство определения пространства изнутри и снаружи, от одной плоскости до другой, от одного пространства к другому.

Из-за их сути – образовывать и определять пространства – поверхности являются элементарной абстракцией, причем архитектура совершенно очевидно становится как идеей, так и действительностью.

Элементы поверхности при определенных предпосылках могут осуществлять в строительстве несущие функции: плоский несущий элемент. Без дополнительных вспомогательных средств плоские несущие элементы могут сами свободно располагаться над пространством и при этом воспринимать нагрузки.

Плоские несущие элементы могут быть объединены в механизмы, которые перераспределяют силы: несущие системы, активные по поверхности. Конструктивная непрерывность элементов по двум осям, т. е. поверхностное сопротивление силам сжатия, растяжения и сдвига или среза, является первой предпосылкой и первым признаком несущих систем, активных по поверхности.

Способность плоского несущего элемента перераспределять силы, т. е. отводить нагрузки, зависит от положения плоскости относительно направления приложения силы.

Работоспособность плоского несущего элемента является самой эффективной, если плоскость параллельна направлению приложения сил (при силе тяжести – вертикальна); наименее эффективна – если плоскость перпендикулярна направлению сил (при силе тяжести – горизонтальна).

В зависимости от направления приложения сил в плоском несущем элементе задействованы два различных механизма сопротивления: механизм плиты при приложении силы перпендикулярно плоскости и механизм стенки при приложении силы параллельно плоскости.

В то время как в горизонтальных несущих элементах при гравитационных нагрузках с увеличением площади поверхности несущая способность снижается (механизм плиты), в плоских вертикальных несущих элементах по мере возрастания площади несущая способность растет (механизм стенки).

Благодаря наклону плоскости по отношению к приложению силы становится возможным с помощью складчатости или искривления преодолеть противоречие между горизонтальной эффективностью при перекрытии пространства и вертикальной эффективностью при сопротивлении плоскости силе тяжести.

Формообразование поверхности является определяющим для несущего механизма систем, активных по поверхности. Эффективное формообразование наряду с непрерывностью является вторым признаком несущих систем, активных по поверхности.

В несущих системах, активных по поверхности, эффективной формой является, главным образом, та, которая переориентирует приложенные силы и распределяет их равномерно по всей поверхности. Разработка нужной формы поверхности с точки зрения статики, эстетики и использования является творческим процессом, искусством.

Благодаря эффективному формообразованию интегрируется механизм формоактивных несущих конструкций: опорная способность арки и несущая способность ваны.

И механизмы несущих систем, активных по сечению, таких как неразрезная балка или шарнирная рама, могут быть охарактеризованы с помощью лексики, касающейся плоских несущих элементов, точно так же, как и механизмы несущих систем, активных по форме или вектору. Это означает, что все несущие системы могут интерпретироваться через элементы, активные по поверхности и, следовательно, рассматриваться как крупные структуры несущих систем, активных по поверхности.

Сохранение несущей формы с помощью элементов жесткости контура

и профиля поверхности является условием функционирования несущей системы. Проблема состоит в том, что закрепленные элементы должны быть такой формы, при которой не произошло бы внезапное изменение уровня жесткости или не возникла бы тенденция деформации между поверхностью и креплением, которая бы вызвала критическое состояние в зоне стыка.

Несущие системы, активные по поверхности, являются одновременно и оболочкой внутреннего пространства, и внешней поверхностью строительного сооружения, и, следовательно, определяют форму внутреннего пространства и внешнюю форму строения. Поэтому они являются завершающей субстанцией строительного сооружения и также критерием его качества – как целесообразная, экономичная машина и как эстетически значимая форма.

Из-за идентичности несущей конструкции и строительной субстанции не допускается ни толерантность, ни различие между несущей конструкцией и строительным сооружением. Так как форма несущей конструкции не произвольна, пространство и форма строительного сооружения, а вместе с ними и воля архитектора связаны с законом механики.

Формообразование с помощью несущих поверхностей является подчиненной дисциплиной. Каждое отклонение от эффективной формы оказывает отрицательное влияние на экономичность механизма, и его функционирование вообще может быть поставлено под сомнение.

Несмотря на общую закономерность, которой подвержена каждая плоская несущая система, механизмы известных несущих систем, активных по поверхности, очень

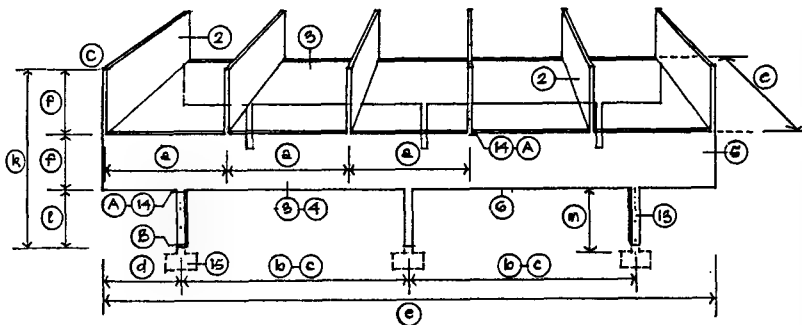
многочисленны. Сверх того в каждом из этих механизмов, несмотря на его типичный «принцип действия» и его типичную основополагающую форму, содержится бесконечное число возможностей для оригинального творческого проекта.

Строительство с помощью несущих поверхностей предполагает знание механики несущих систем, активных по поверхности: их «принципа действия», геометрии, значения для формы и пространства в строительстве.

Знание условий, с помощью которых из образующих пространство поверхностей может быть спроектирована самонесущая и воспринимающая нагрузки структура, является обязательной научной основой для проектирующего архитектора и инженера.

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ | АКТИВНЫЕ ПО ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ – это несущие системы из поверхностей, не жестких на изгиб, но жестких на сжатие, растяжение и срез, поверхностей, в которых перераспределение сил осуществляется посредством сопротивления поверхности и соответствующего формообразования. |
| СИЛЫ        | Элементы системы при этом нагружаются в первую очередь мембранными силами, т. е. силами, которые действуют параллельно поверхности: СИСТЕМЫ В СОСТОЯНИИ МЕМБРАННОГО НАПРЯЖЕНИЯ                                                                                                       |
| ПРИЗНАКИ    | Типичными структурными признаками являются НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗАМЫКАЮЩИЕ ПРОСТРАНСТВО, и ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ                                                                                                                                                               |

#### 4.1 Пластиночная система



#### Элементы и их названия

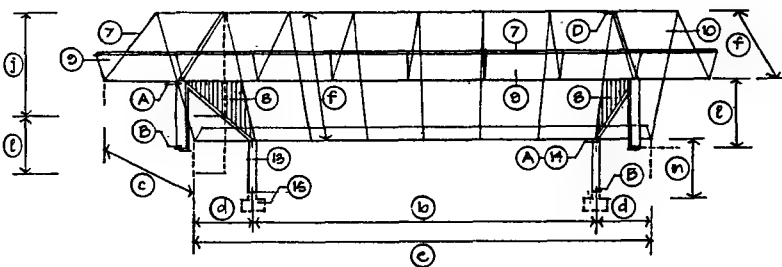
##### Элементы системы

- ① (несущая) панель, плита
- ② поперечная панель, диафрагма
- ③ продольная панель
- ④ панель нижнего пояса
- ⑤ консоль
- ⑥ контур панели
- ⑦ контур оболочки
- ⑧ поперечная диафрагма жесткости
- ⑨ контурный элемент жесткости
- ⑩ мембрана-оболочка, несущая мембрана
- ⑪ кольцевой пояс, опорное кольцо, натяжное кольцо
- ⑫ сжатое кольцо
- ⑬ стойка
- ⑭ точка опирания
- ⑮ фундамент, основание
- ⑯
- ⑰
- ⑱

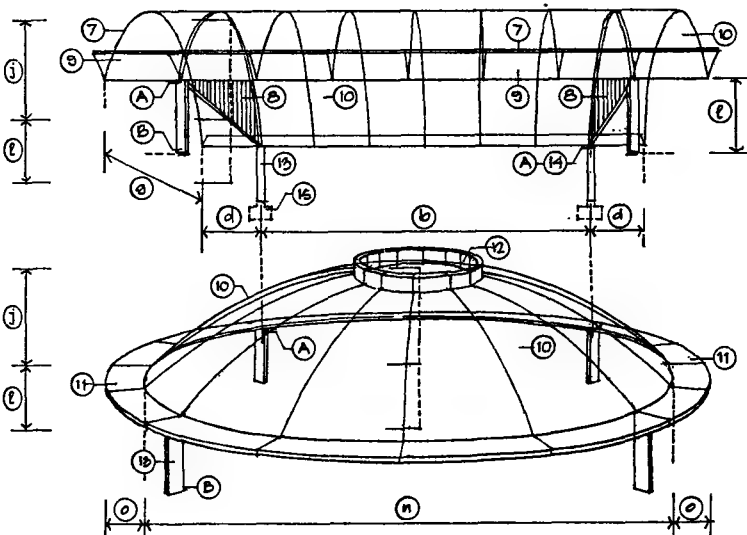
##### Топографические точки системы

- Ⓐ точка опирания
- Ⓑ точка опоры
- Ⓒ точка карниза
- Ⓓ наивысшая (коньковая) точка
- Ⓔ точка защемления
- Ⓕ
- Ⓖ
- Ⓗ

#### 4.2 Система складчатых конструкций



#### 4.3 Оболочковые системы

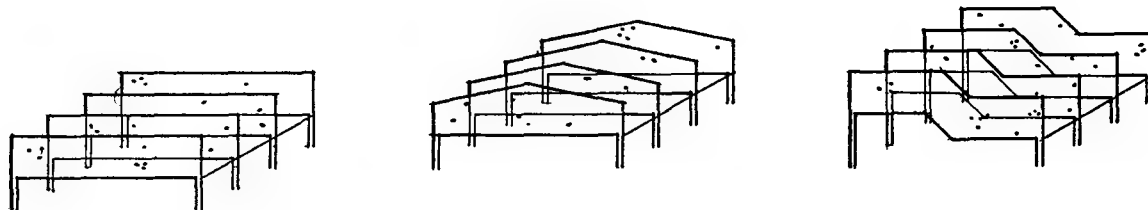


##### Параметры системы

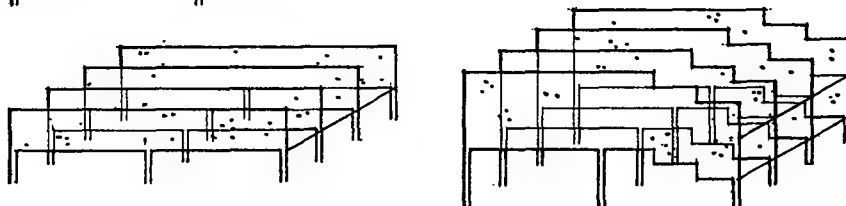
- Ⓐ расстояние между панелями
- Ⓑ величина пролетов
- Ⓒ расстояние между опорами
- Ⓓ длина консоли
- Ⓔ длина панели, длина плиты
- Ⓕ высота панели, высота плиты
- Ⓖ ширина оболочки
- Ⓗ длина оболочки
- Ⓙ высота конструкции
- Ⓚ стрела подъема арки
- Ⓛ высота карниза
- Ⓜ высота в свету
- Ⓝ длина опор, высота опор
- Ⓟ диаметр оболочки
- Ⓡ ширина кольцевого пояса (натяжного кольца)
- Ⓢ
- Ⓣ

## 4.1 СТЕНОВЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

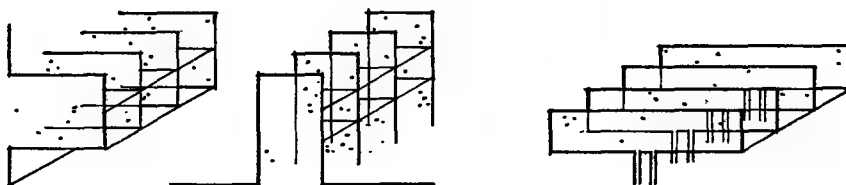
Однопролетные плиты



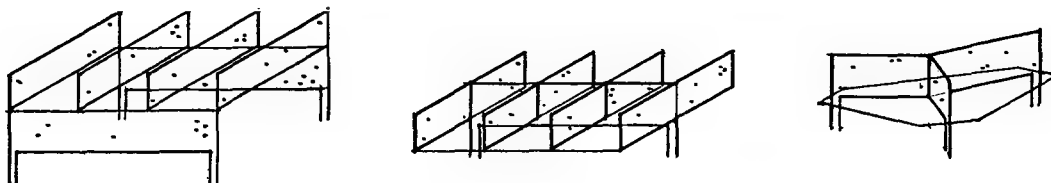
Нерезные плиты



Консольные плиты

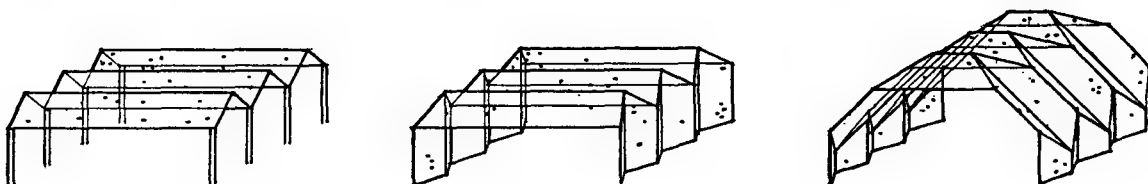


Пересекающиеся плиты



## 4.2 СКЛАДЧАТЫЕ СИСТЕМЫ

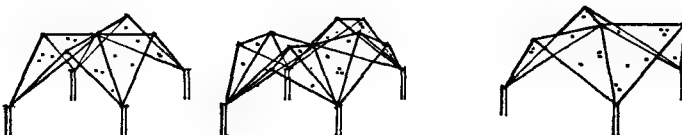
Одноосные складчатые конструкции



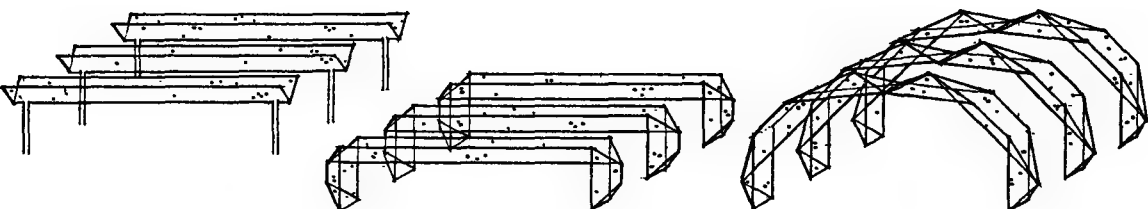
Многоугольные складчатые конструкции



Пересекающиеся складчатые конструкции



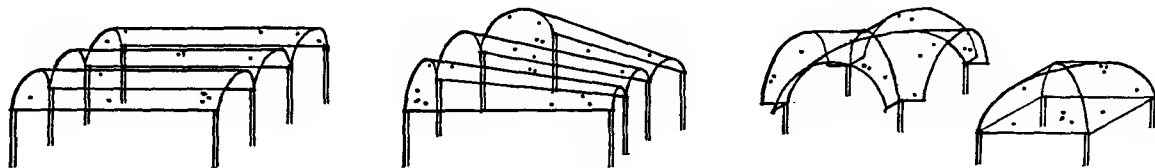
Линейные складчатые конструкции





# 4.3 НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ – ОБОЛОЧКИ

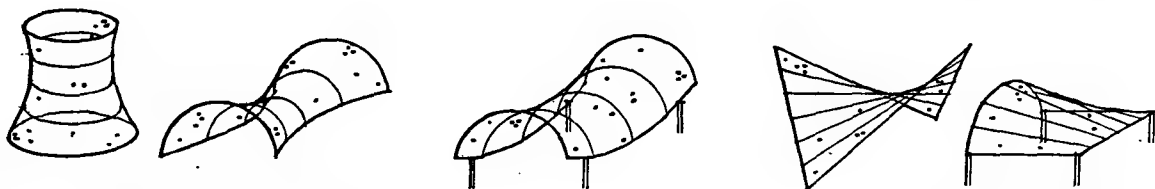
Однорядно изогнутые оболочки



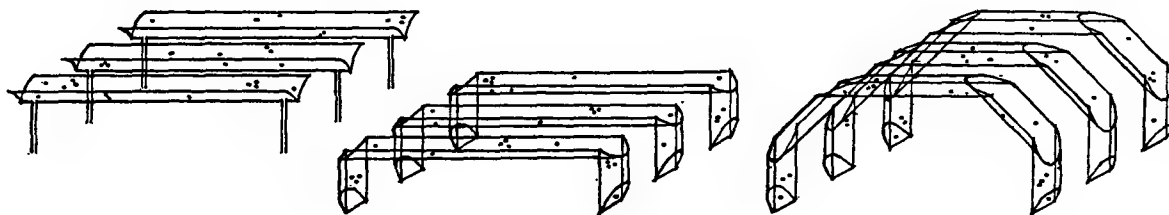
Куполообразные оболочки



Седловидные оболочки



Линейные оболочки



ПРИМЕНЕНИЕ = НЕСУЩАЯ СИСТЕМА – СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ – ВЕЛИЧИНА ПРОЛЕТОВ

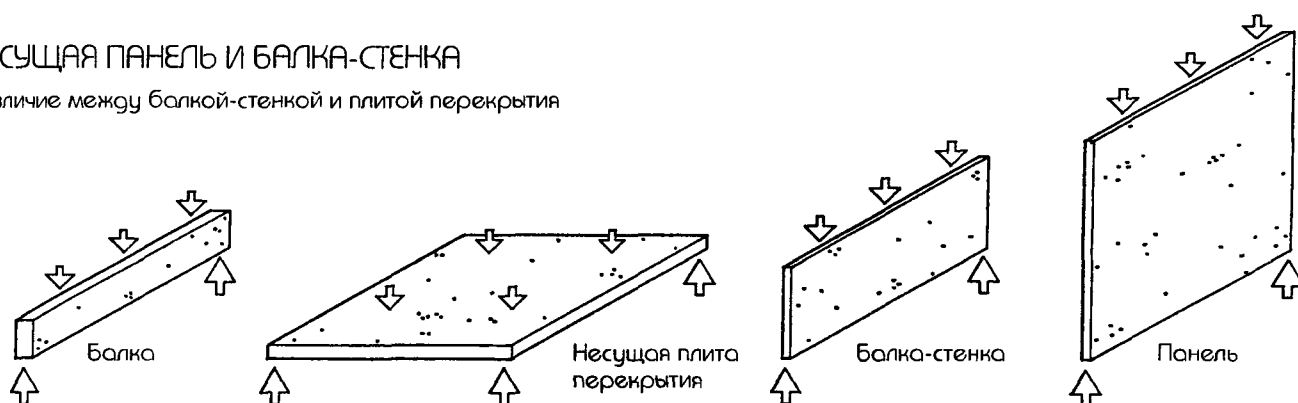
| Несущая система                            |           | Исходный строительный материал | Величина пролетов в метрах |   |    |    |    |    |     |    |     |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|--------------------------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|---|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|                                            |           |                                | 0                          | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30  | 40 | 50  | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |
| ПАНЕЛЬНЫЕ<br>НЕСУЩИЕ<br>КОНСТРУКЦИИ        |           | железобетон                    |                            |   | 8  |    | 10 |    | 40  |    | 50  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 6  |    | 10 |    | 50  |    | 50  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 10 |    | 15 |    | 50  |    | 60  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 8  |    | 10 |    | 40  |    | 50  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 5  |    | 5  |    | 20  |    | 25  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            | древесина |                                |                            |   | 5  |    | 5  |    | 15  |    | 20  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| СКЛАДЧАТЫЕ<br>НЕСУЩИЕ<br>КОНСТРУКЦИИ       |           | железобетон                    |                            |   | 10 |    | 15 |    | 50  |    | 60  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 6  |    | 10 |    | 40  |    | 50  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 20 |    | 25 |    | 150 |    | 200 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 15 |    | 20 |    | 120 |    | 150 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 20 |    | 25 |    | 80  |    | 100 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 15 |    | 20 |    | 60  |    | 80  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 10 |    | 20 |    | 70  |    | 80  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 10 |    | 15 |    | 60  |    | 70  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| ОБОЛОЧ-<br>КОВЫЕ<br>НЕСУЩИЕ<br>КОНСТРУКЦИИ |           | железобетон                    |                            |   | 10 |    | 20 |    | 60  |    | 75  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 20 |    | 40 |    | 150 |    | 200 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 15 |    | 25 |    | 70  |    | 80  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 15 |    | 25 |    | 60  |    | 70  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | древесина                      |                            |   | 15 |    | 20 |    | 50  |    | 60  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 20 |    | 25 |    | 80  |    | 100 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                            |           | железобетон                    |                            |   | 20 |    | 25 |    | 60  |    | 70  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |

Каждому типу несущей конструкции должно соответствовать специфическое напряженное состояние ее несущих элементов.

Отсюда вытекает неизбежная для проекта связь выбора исходного строительного материала и соотношения величин пролетов.

## НЕСУЩАЯ ПАНЕЛЬ И БАЛКА-СТЕНКА

Различие между балкой-стенкой и плитой перекрытия



Панели – это плоские, активные по поверхности конструкции, которые в отличие от несущих плит перекрытия подвергаются нагрузкам, ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ плоскости стенки.

По их несущей механике они могут быть сравнимы с балкой, однако по мере возрастания высоты конструкции картина

распределения напряжений в стенке отклоняется от картины распределения напряжений в балке.

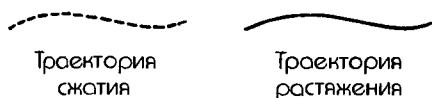
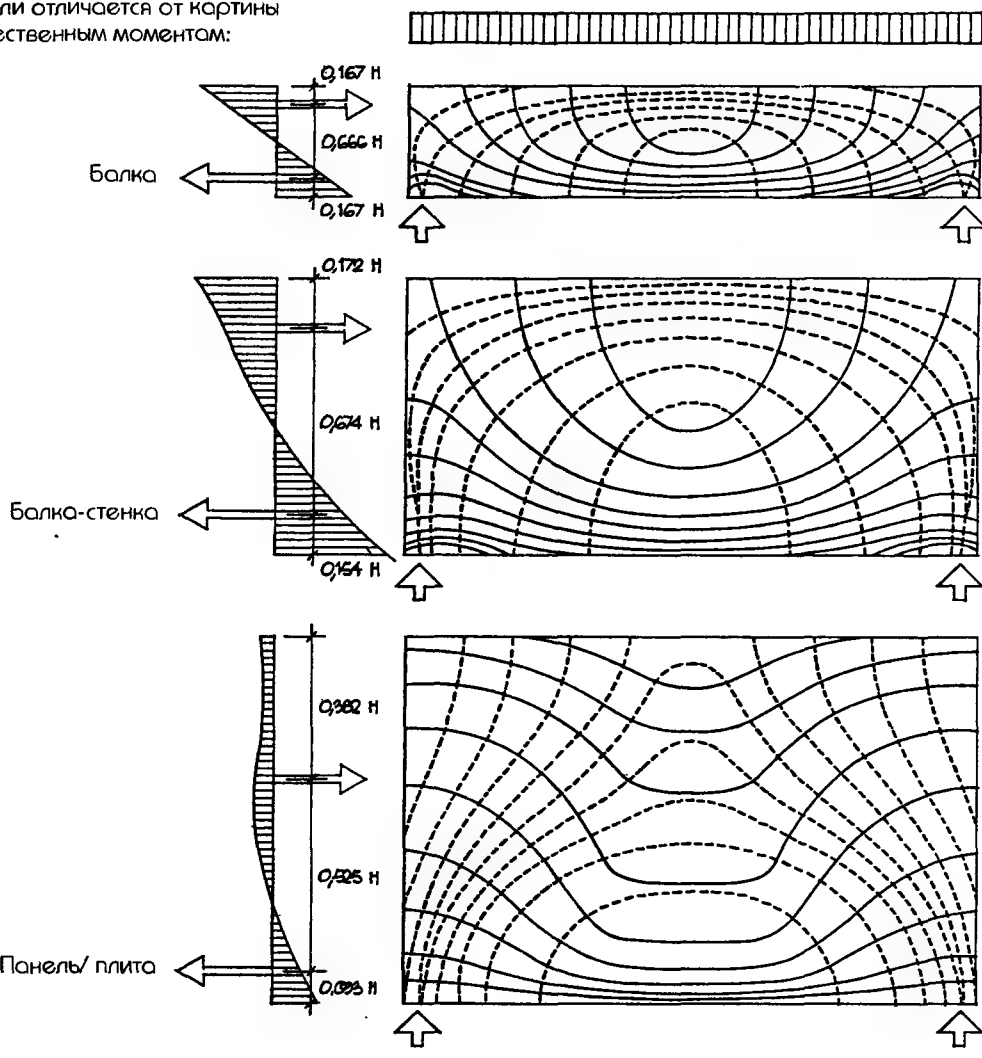
Балки-стенки, называемые так из-за своего сходства со стеновыми панелями, высота которых меньше половины пролета, ведут себя как балки. Они не являются стенами в статическом смысле.

## ПЕРЕХОД ОТ БАЛКИ К НЕСУЩЕЙ ПАНЕЛИ

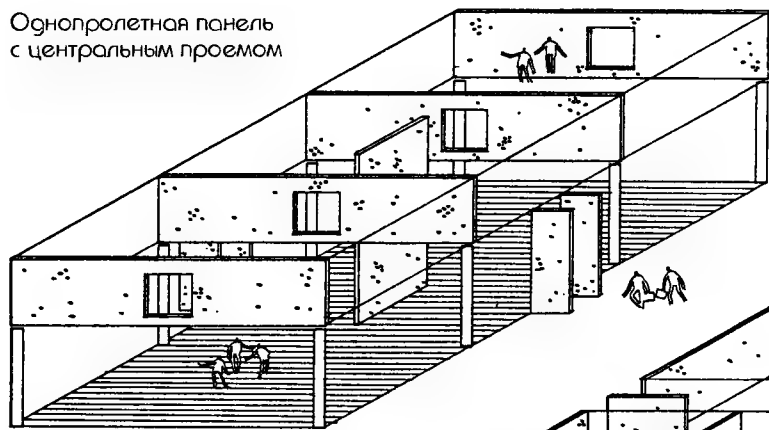
Картина распределения напряжений в панели отличается от картины распределения в балке по следующим существенным моментам:

1. Распределение нормальных напряжений больше не происходит линейно.
2. При сжатии в верхней области балки все больше снижается воздействие на нее сил сжатия.
3. Нулевая линия смещается далеко вниз и стремится далее к опорам.
4. Результирующая сил растяжения лежит далеко внизу по отношению к зоне сжатия.

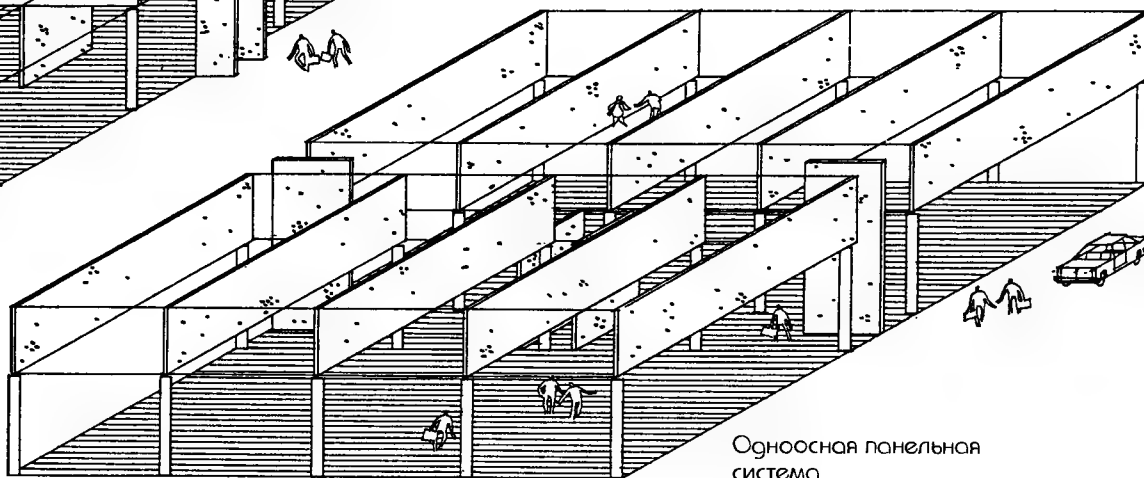
Диаграмма изостатических сетевых линий, называемых также траекториями (линии одинаковых основных напряжений: сжатия и растяжения), показывает дополнительно к изгибу от сжатия балки прямой «поток» нагрузок к опорам.



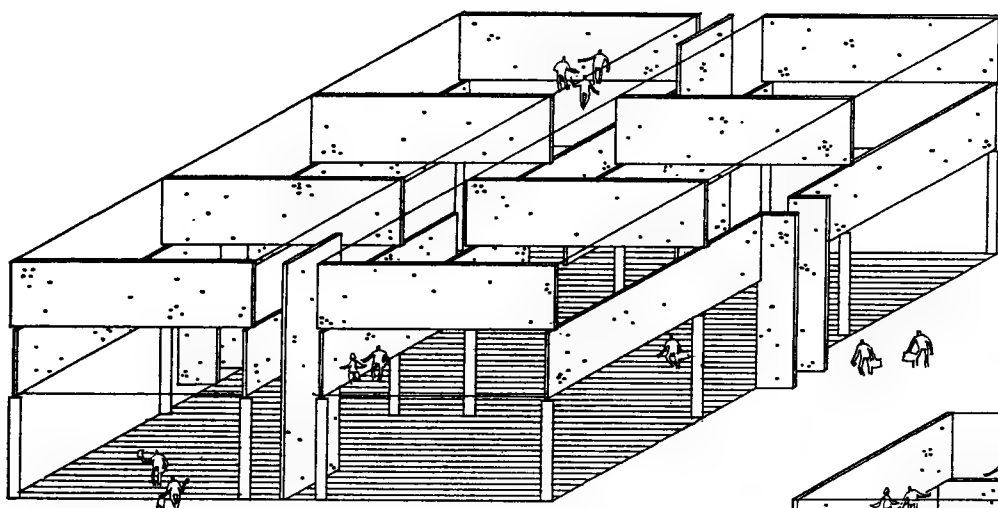
Однопролетная панель  
с центральным проемом



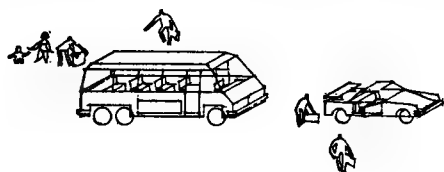
СИСТЕМА НЕСУЩИХ СТЕН СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ПАНЕЛЯМИ



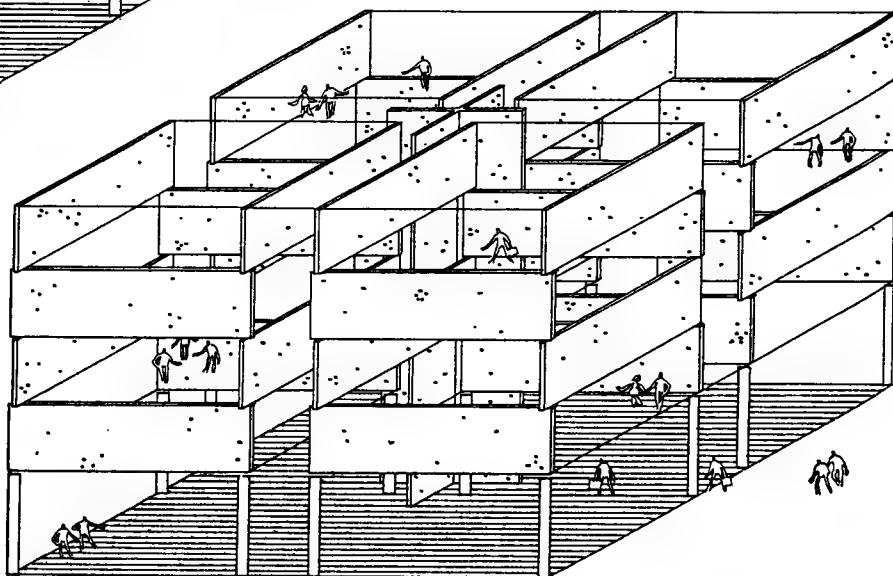
Одноосная панельная  
система



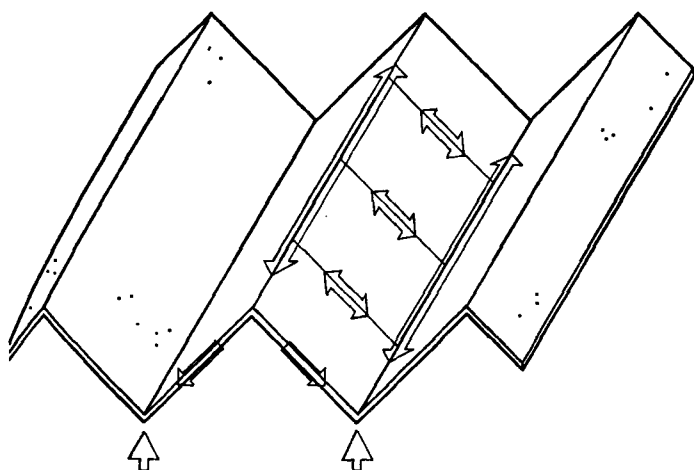
Двухосная панельная  
система



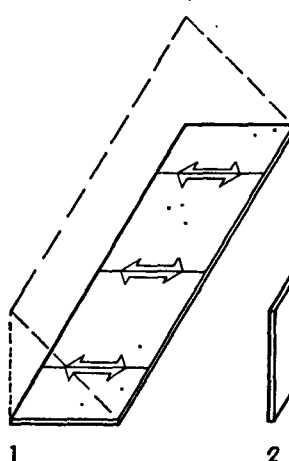
Многоэтажная панельная система с чередующимися направлениями напряжений



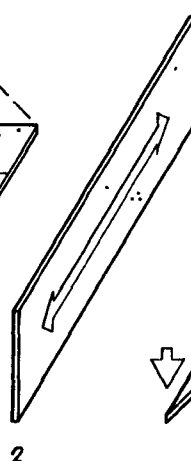
## ТРОЕКРАТНЫЙ НЕСУЩИЙ ЭФФЕКТ ОДИНАРНО СЛОЖЕННОЙ ПЛИТЫ



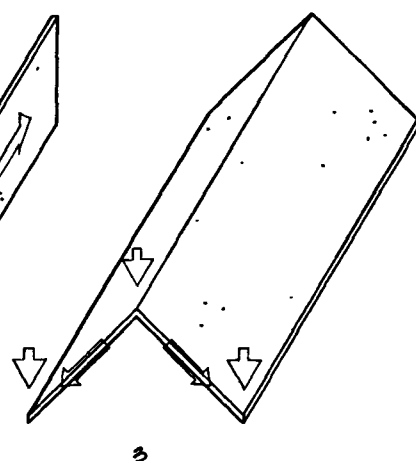
упрощенный процесс усилий одинарно сложенной плиты (складки)



эффект плиты

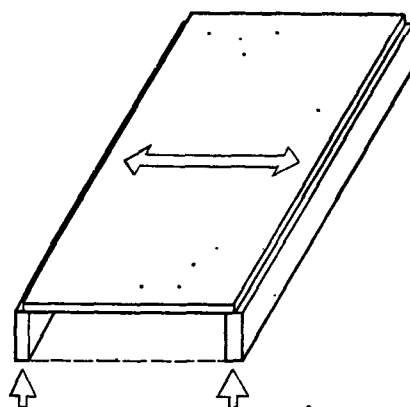


эффект панели

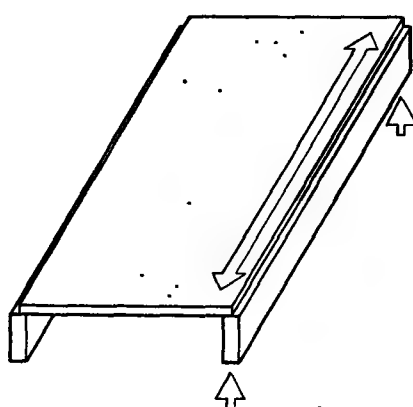


эффект фахверка (рамы)

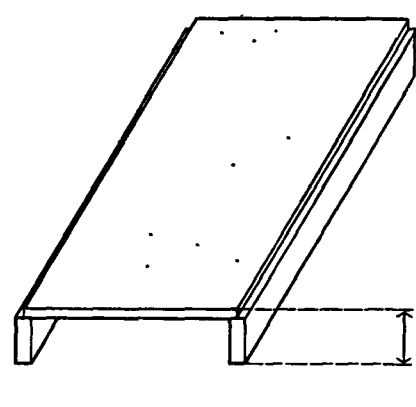
## ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОСТОЙ СКЛАДЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ ПО СРАВНЕНИЮ С РЕБРИСТЫМ ПЕРЕКРЫТИЕМ



деление пополам пролета, где каждая складка ведет себя как опорная конструкция

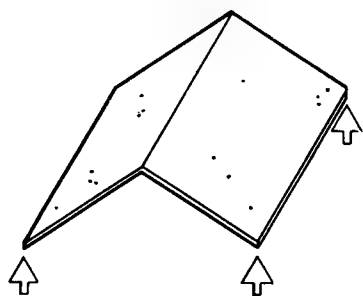


исключение ребер, где каждая поверхность тоже действует как панель (балка) в продольном направлении



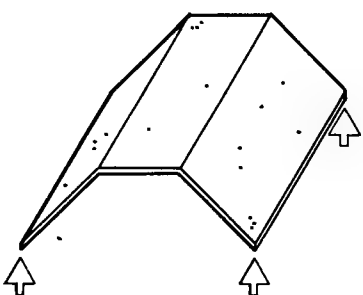
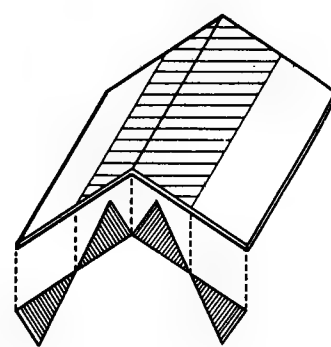
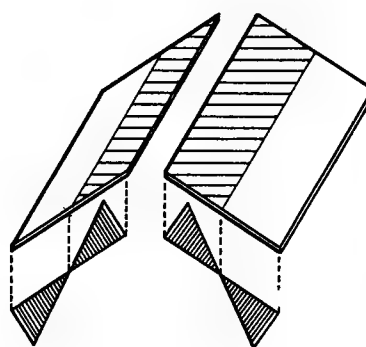
увеличение несущей способности за счет увеличения высоты конструкции

## ВЛИЯНИЕ СКЛАДЧАТОСТИ НА КАРТИНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ



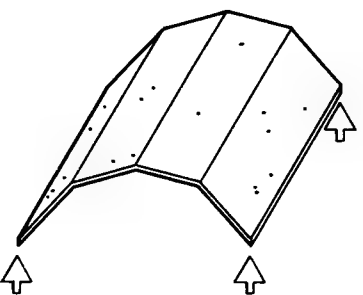
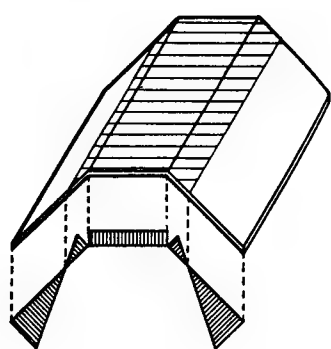
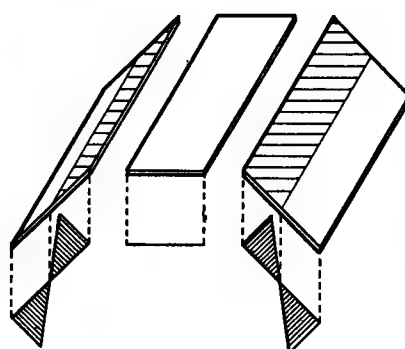
система с одной складкой

Нормальные напряжения на общем контуре одинакового направления. Поэтому распределение напряжения остается неизменным.



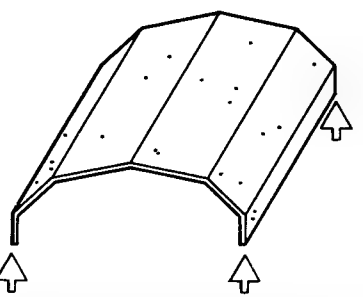
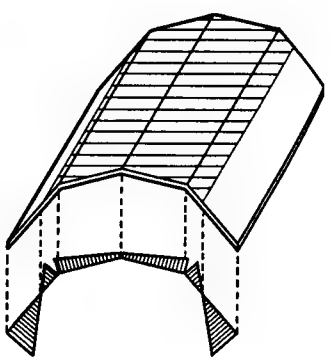
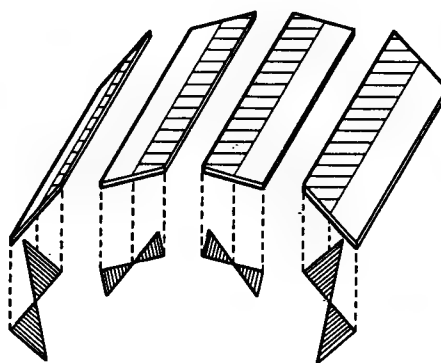
система с двумя складками

Свободная от напряжения горизонтальная плита нагружается срезающими усилиями. Вследствие этого краевые напряжения уменьшаются.



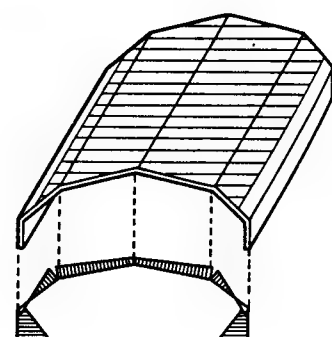
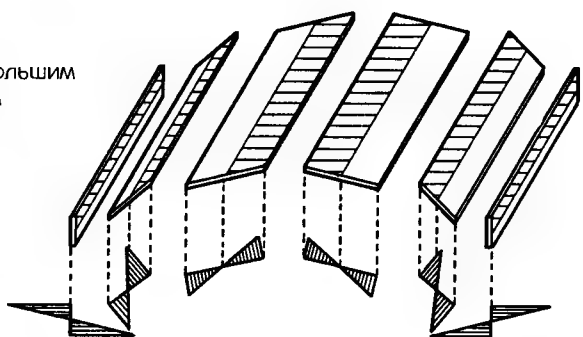
система с тремя складками

Нормальные напряжения на боковых контурах противоположны и взаимно уничтожают друг друга посредством срезающего усилия.

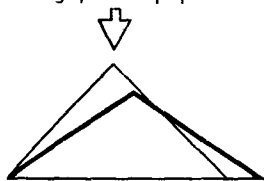


система с большим количеством складок

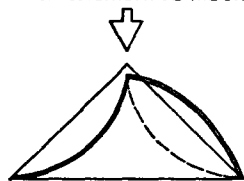
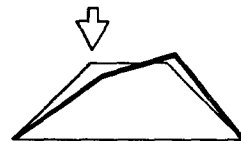
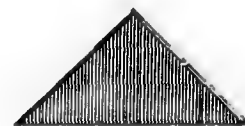
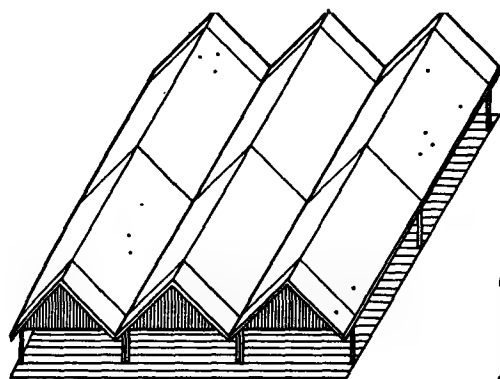
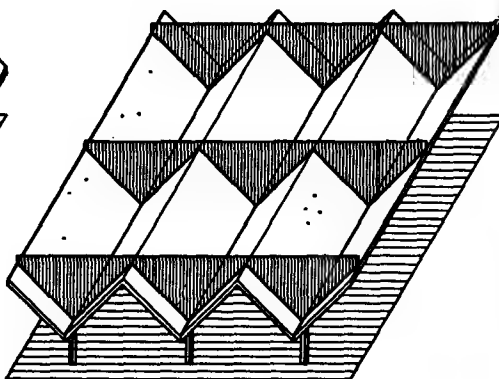
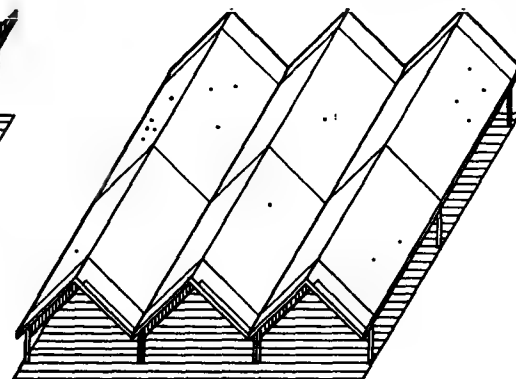
Нормальные напряжения делятся дальше. Форма и принцип действия приближаются к форме и принципу действия цилиндрической оболочки.



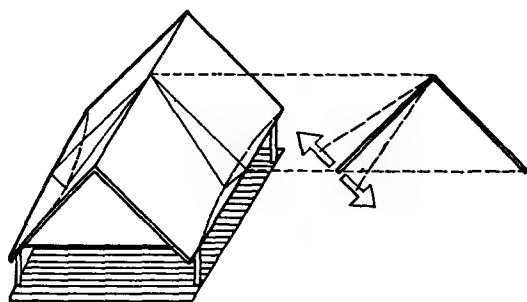
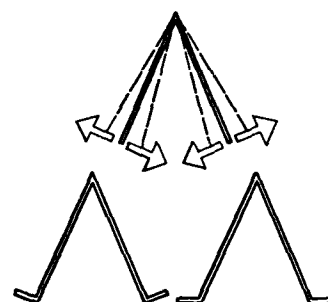
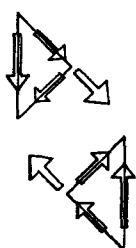
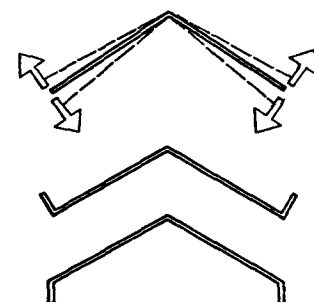
Придание большей жесткости для предотвращения критической деформации складчатого профиля  
Стандартные формы поперечных элементов жесткости



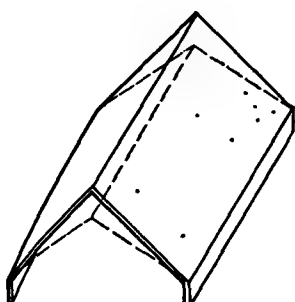
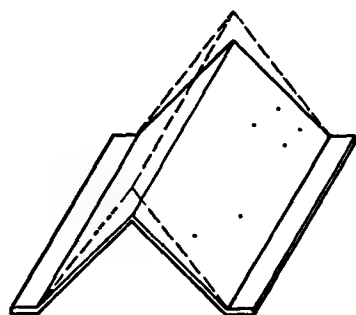
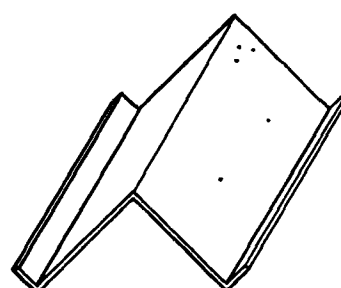
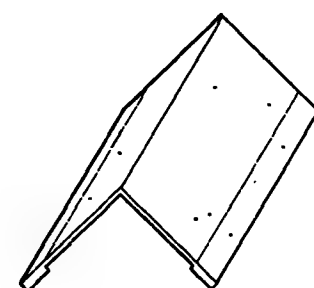
сдвиг нижнего контура

потеря устойчивости  
обеих стенок-складокпотеря устойчивости  
одной стенки-складкиизменение угла скла-  
докобеспечение попе-  
речной жесткостиустановленные снизу попе-  
речные диафрагмы жесткостиустановленные сверху попе-  
речные диафрагмы жесткостиустановленные снизу поперечные  
рамы

придание большей жесткости для предотвращения критической деформации внешнего канта  
стандартные формы краевых элементов жесткости

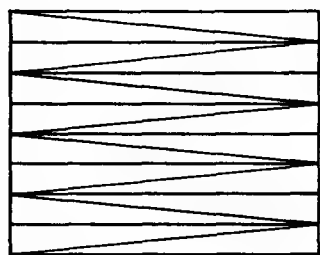
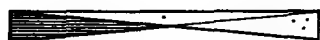
деформация на основе силовых компонентов  
горизонтально плоскостипридание жесткости на краях  
при остроконечных складках

для пологих складок

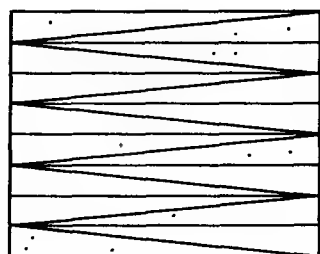
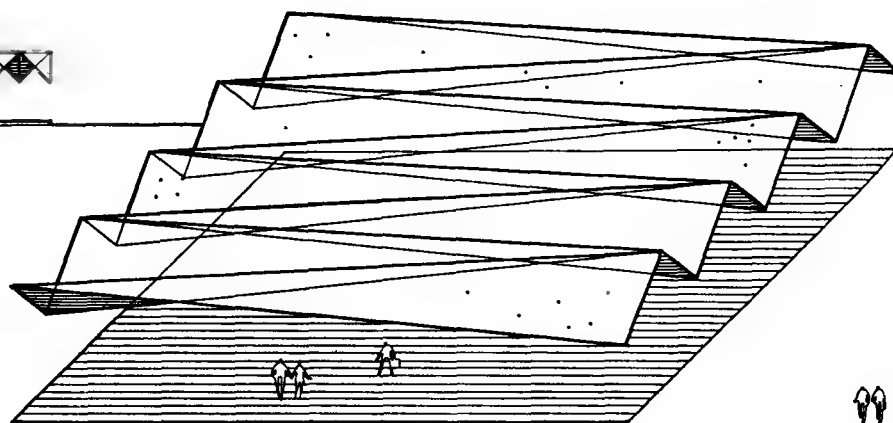
вертикальный элемент жестко-  
сти для пологих складокгоризонтальный элемент жестко-  
сти для остроконечных складокэлемент жесткости, перпендику-  
лярный плоскости стенки складки, —  
самый эффективныйкраевой элемент жесткости  
в плоскости стенки-складки

## ПОВЕРХНОСТИ СО ВСТРЕЧНОЙ СКЛАДЧАТОСТЬЮ

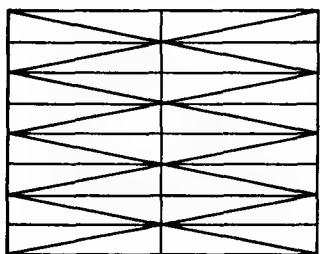
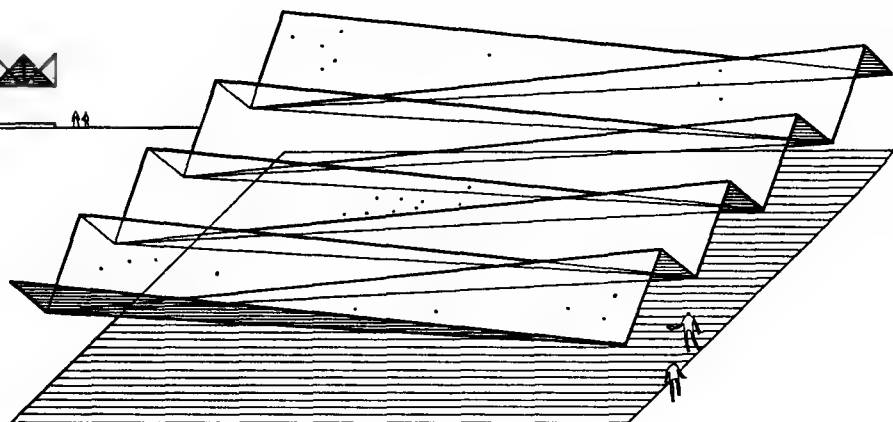
одинаковая глубина складчатого профиля и одинаковая высота над полом



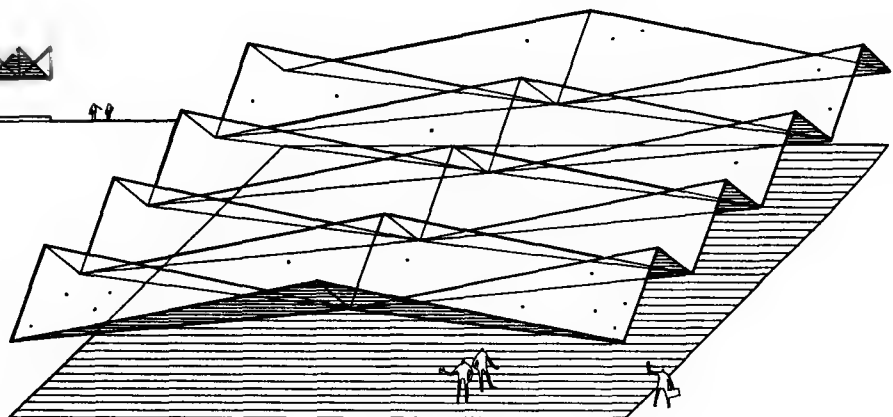
складчатость —  
вершина  
к вершине



складчатость —  
вершина  
к разжелобку



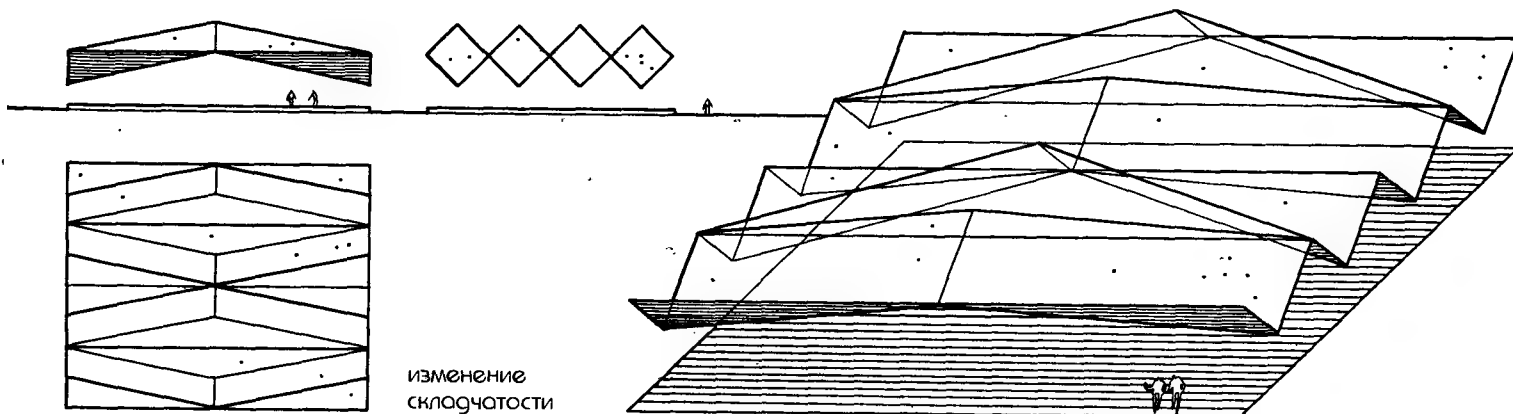
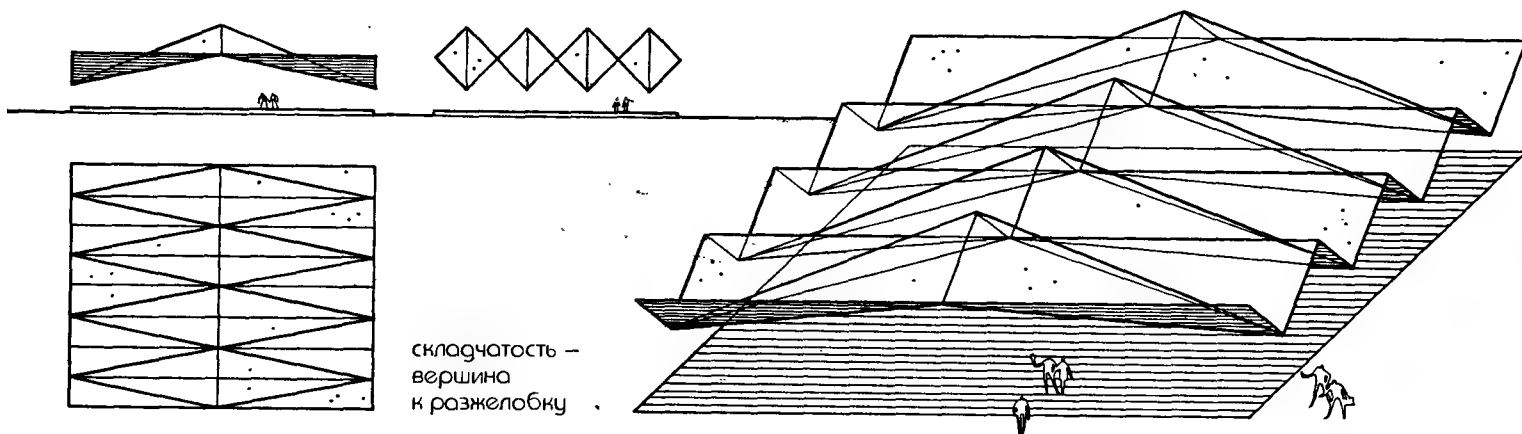
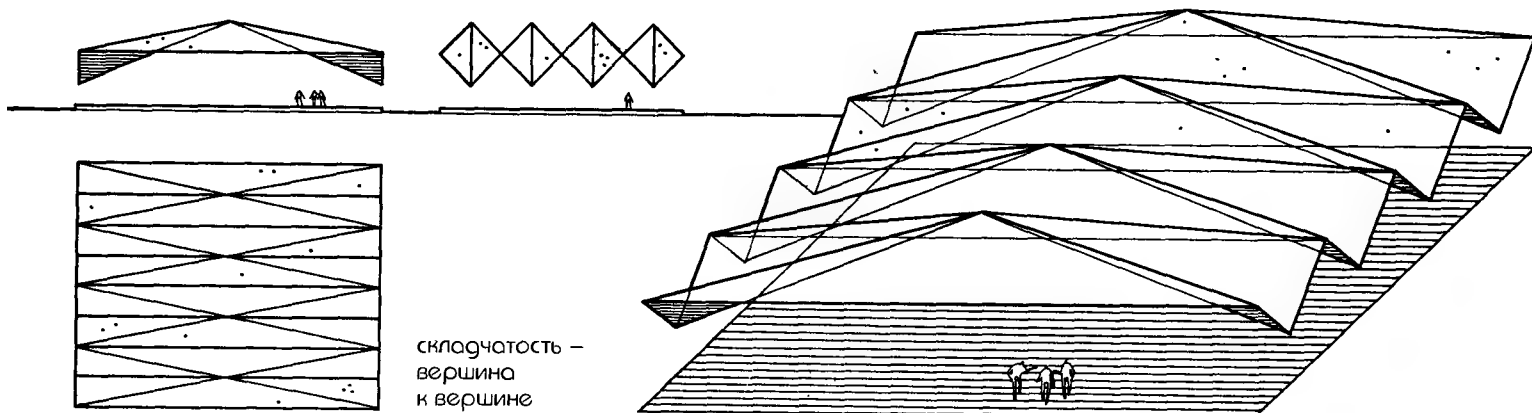
контрпрофиль  
в середине





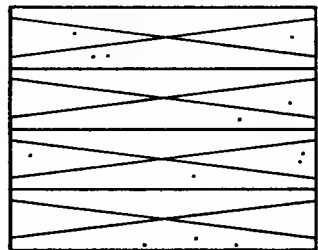
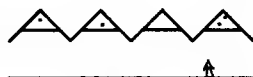
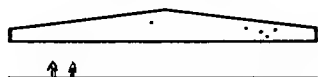
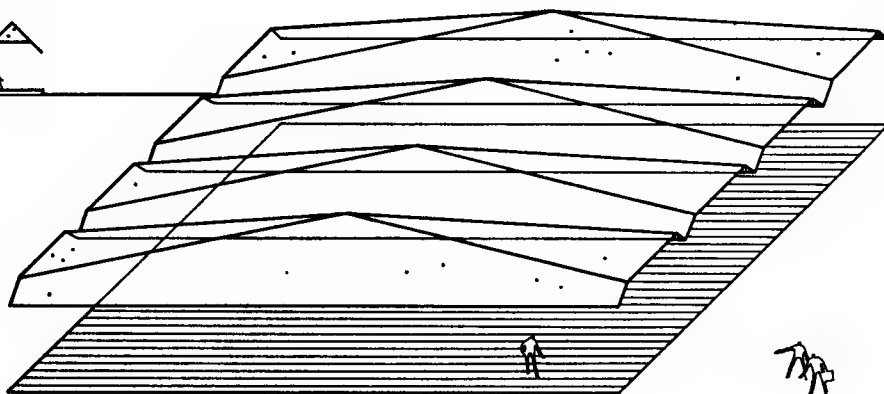
## ПОВЕРХНОСТИ СО ВСТРЕЧНОЙ СКЛАДЧАТОСТЬЮ

Центральный профиль возвышается над крайним. Одинаковая высота профилей



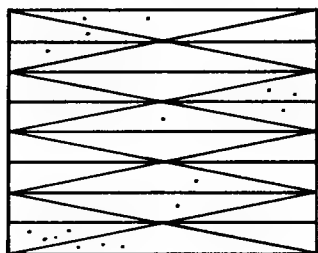
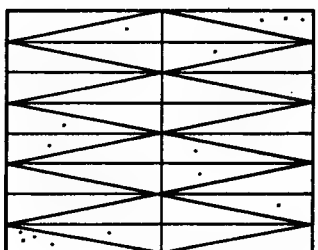
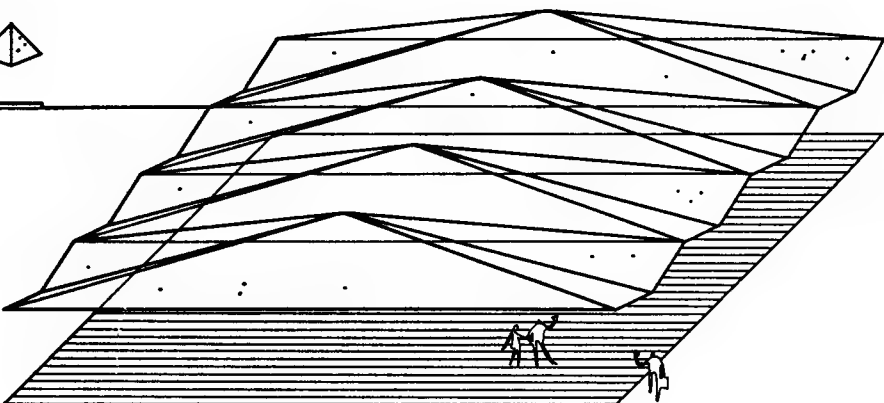
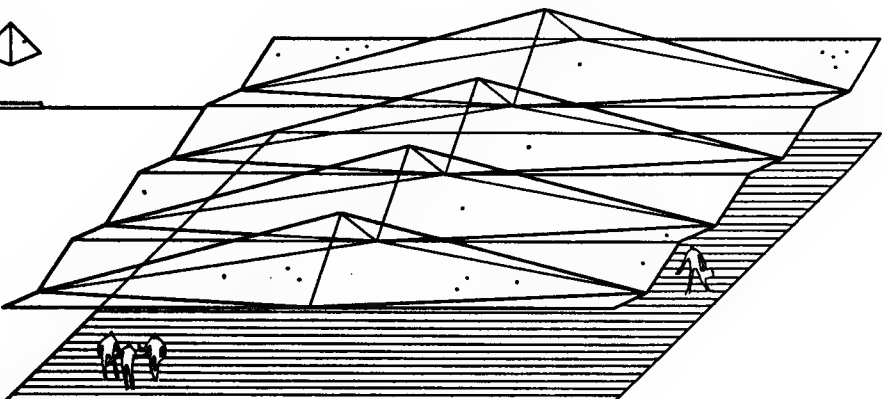
## ПОВЕРХНОСТИ С КОНИЧЕСКОЙ СКЛАДЧАТОСТЬЮ

неразрезной складчатый профиль со сглаженным верхним профилем

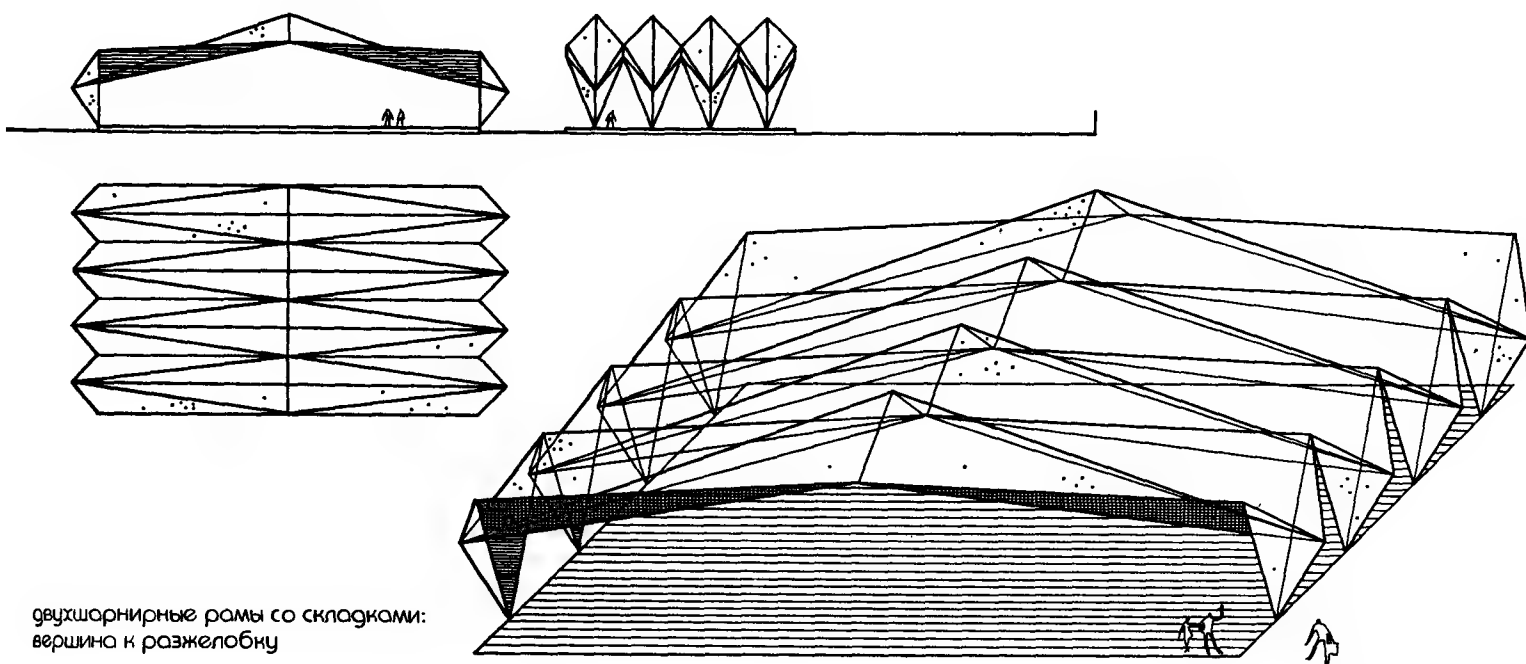
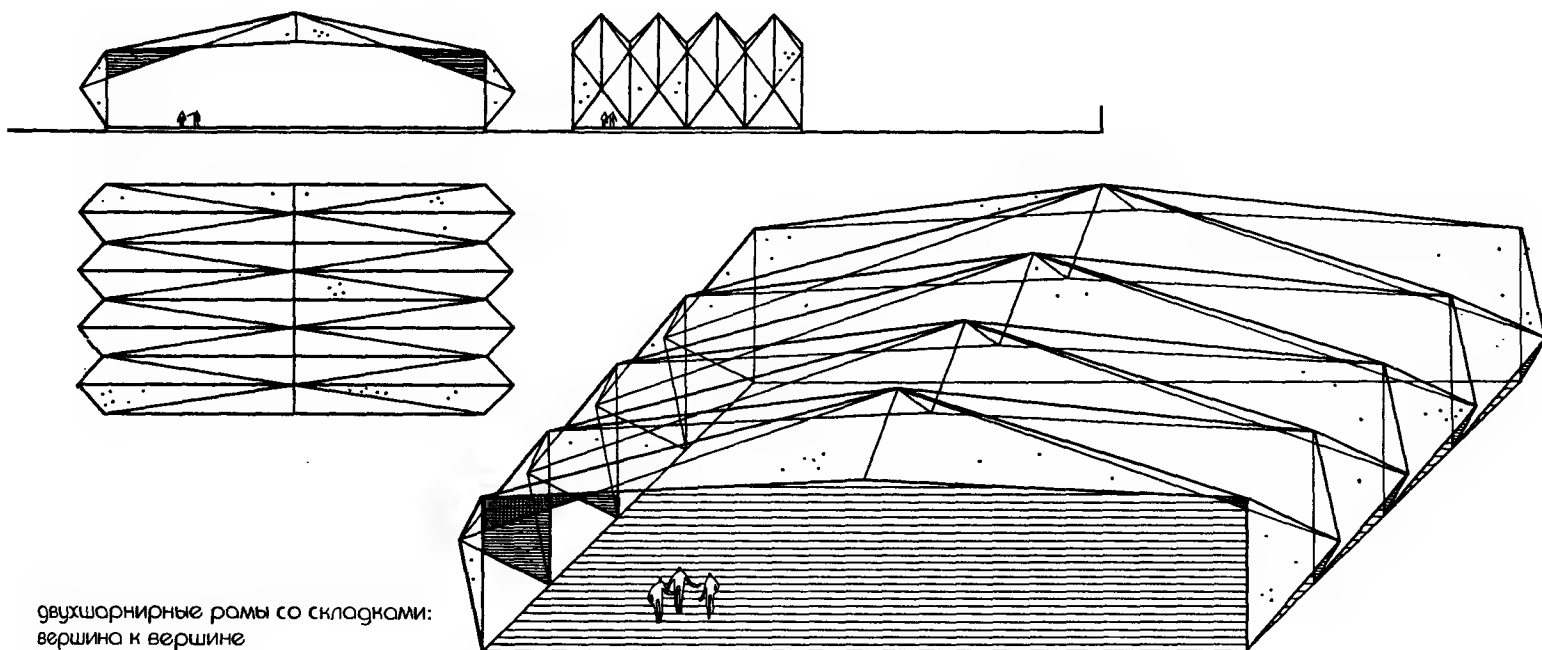
скошенная  
складчатость

## ПОВЕРХНОСТИ СО ВСТРЕЧНЫМИ СКЛАДКАМИ

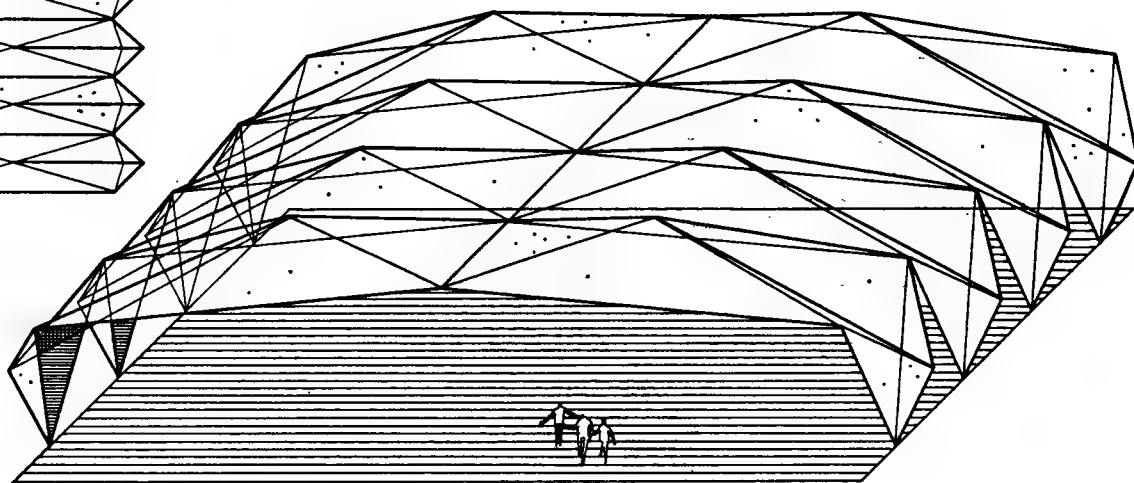
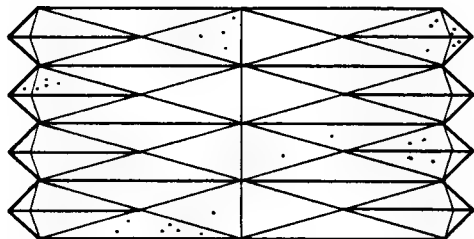
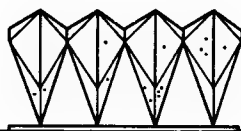
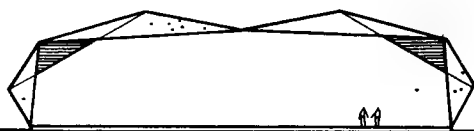
центральный профиль, возвышающийся над краевым

складчатость:  
вершина  
к вершинескладчатость:  
вершина  
к разжелобку

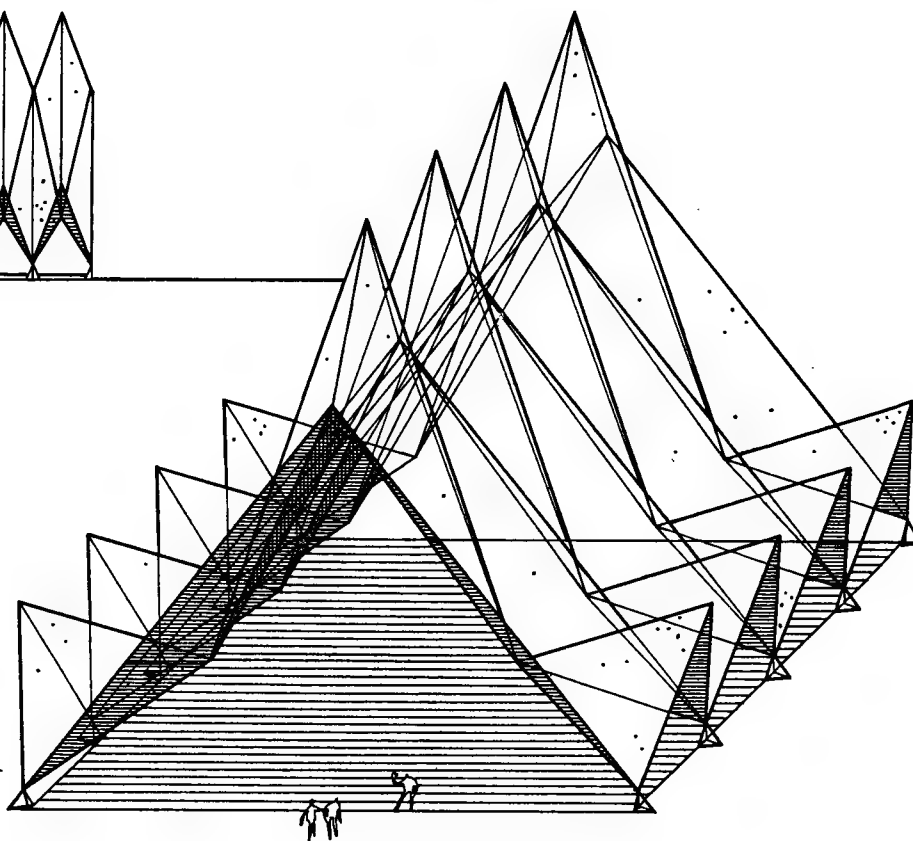
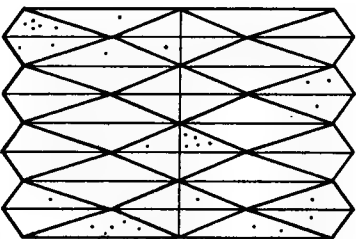
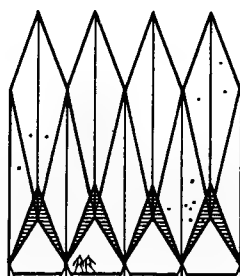
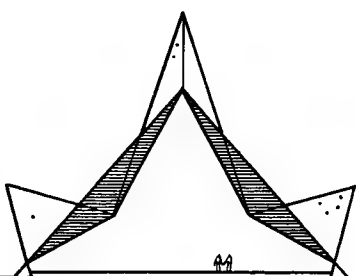
## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

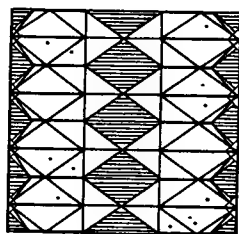
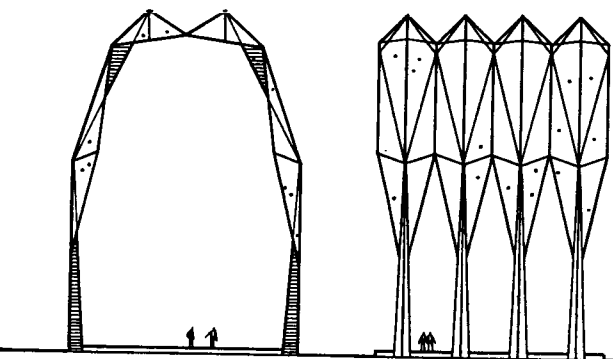


трехшарнирные рамные  
конструкции: коньковая  
складчатость

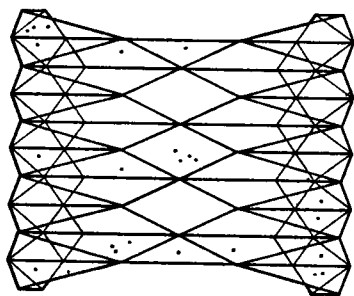
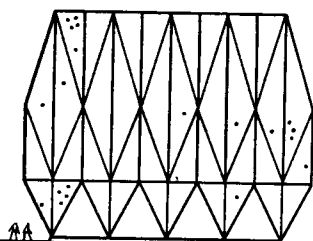
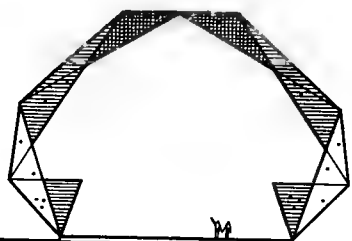
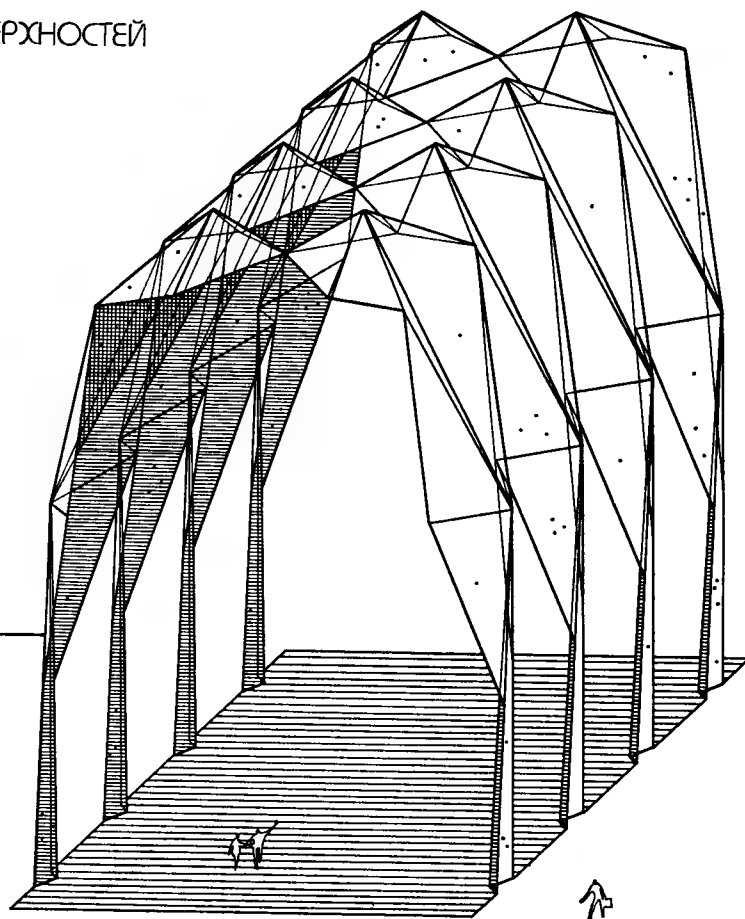


двухшарнирные остроконечные рамные кон-  
струкции: складчатость – вершина к разжелобку

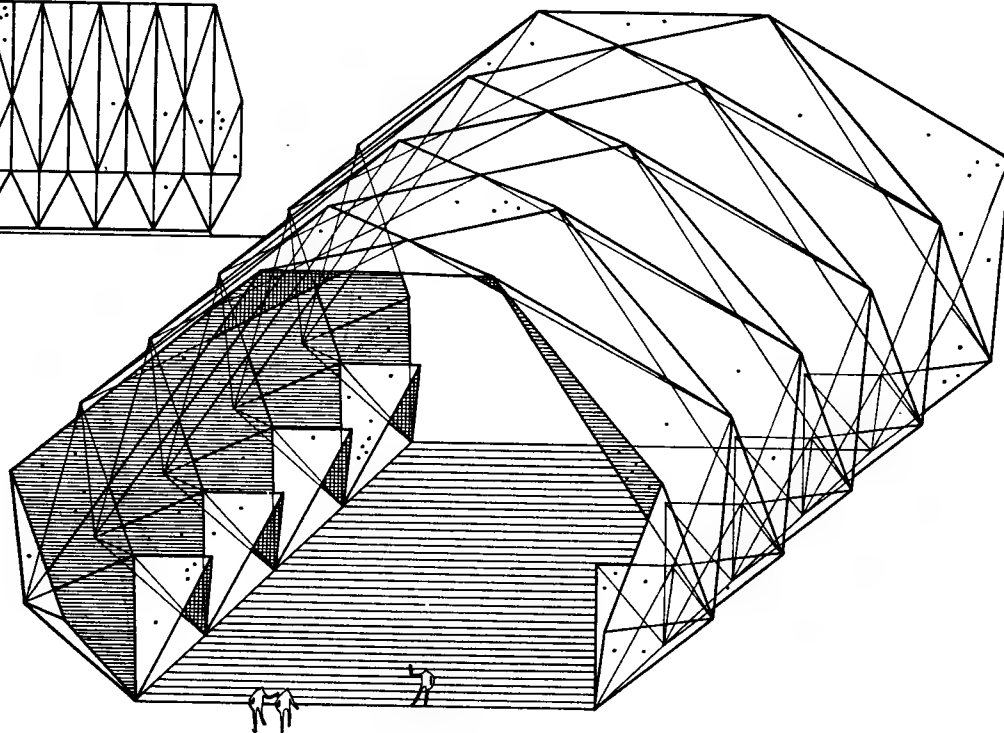
## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



арка с шарниром в замке

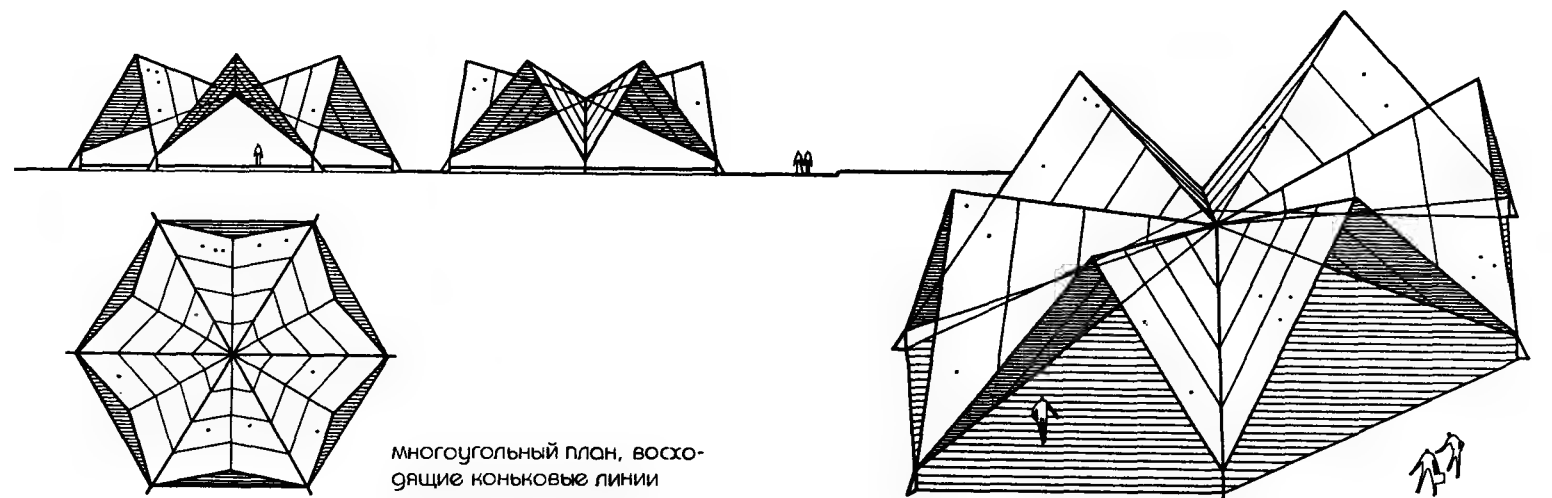
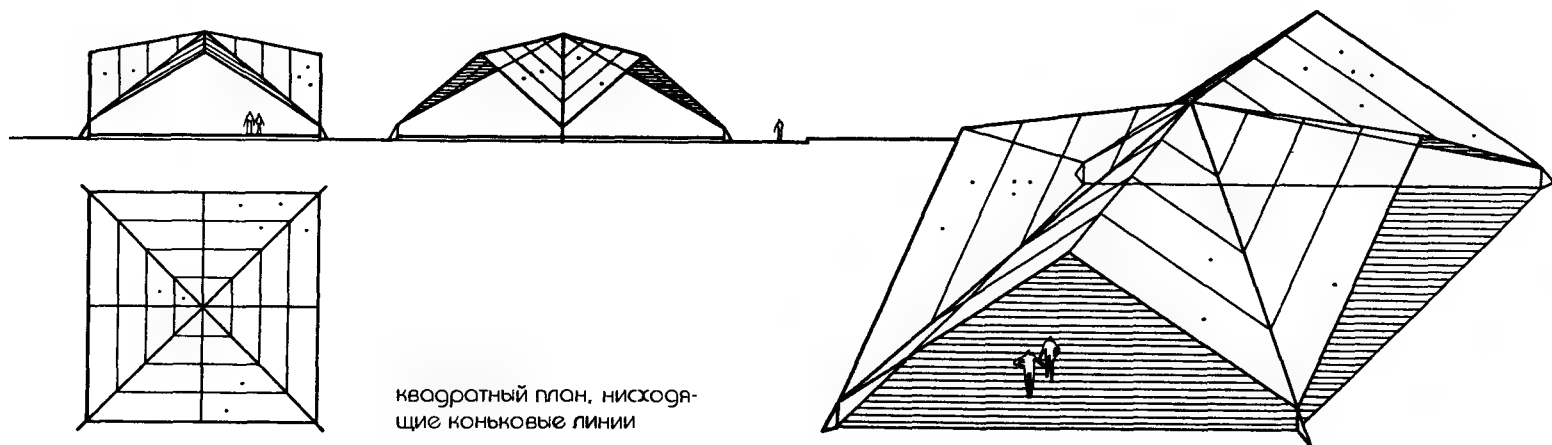
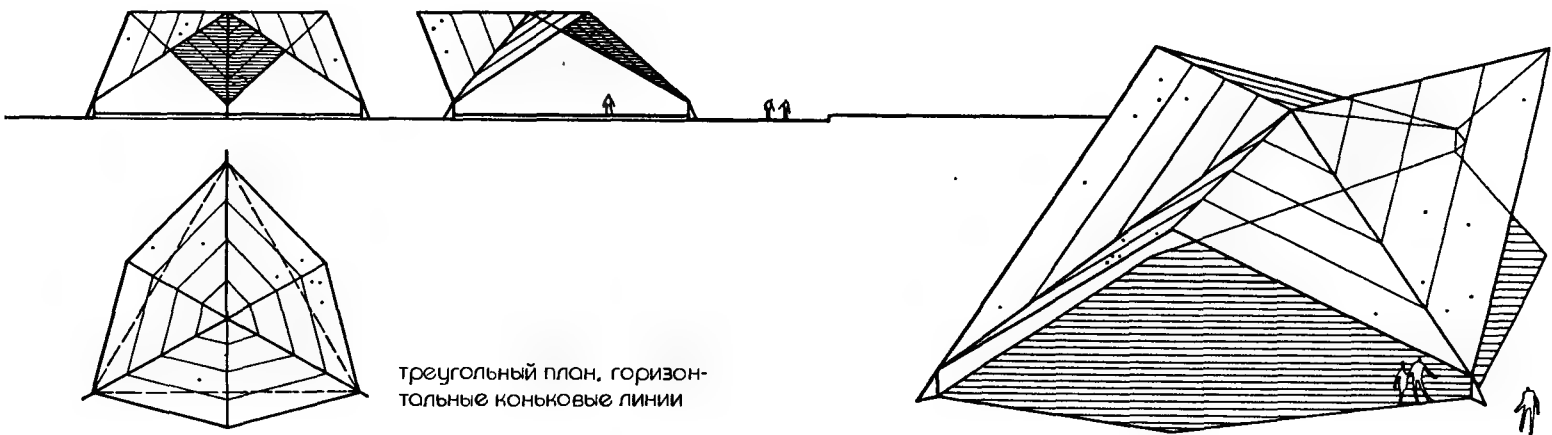


трехшарнирная арка



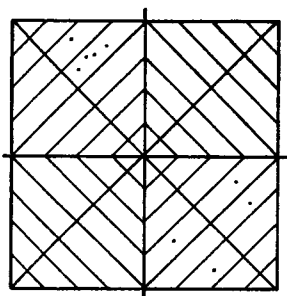
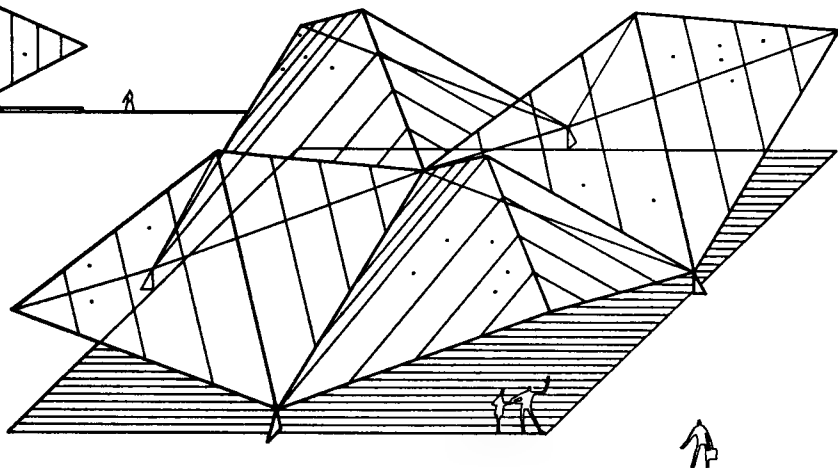
## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Простые складчатые поверхности над планом особой геометрии

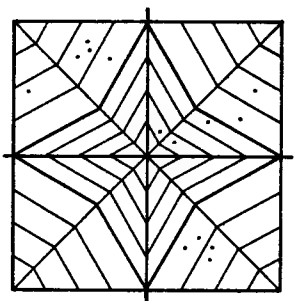
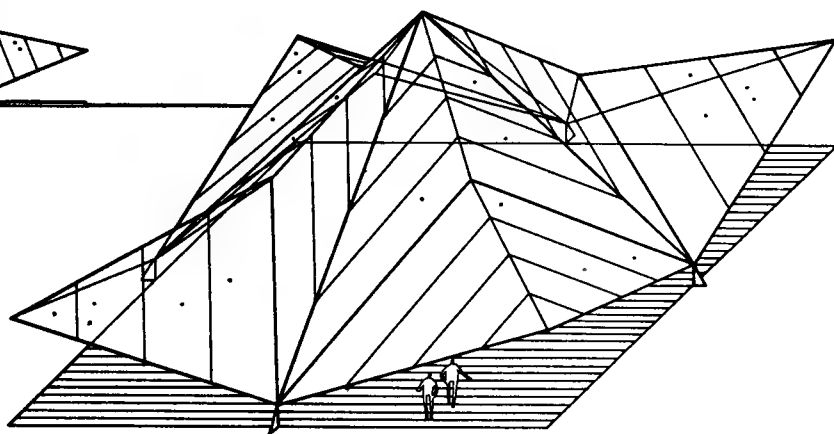
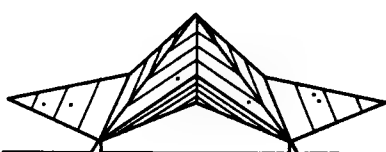
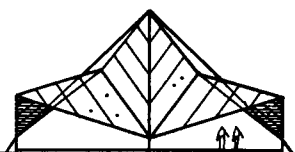


# НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

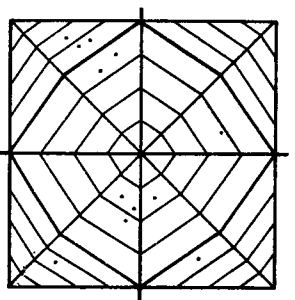
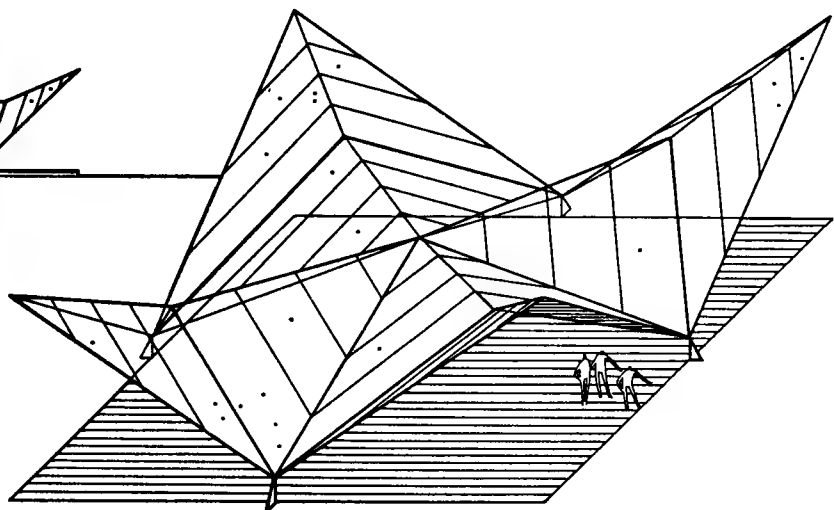
крестообразно сложенные поверхности, проходящие по диагонали над квадратным планом



коньковые линии,  
сложенные вверх



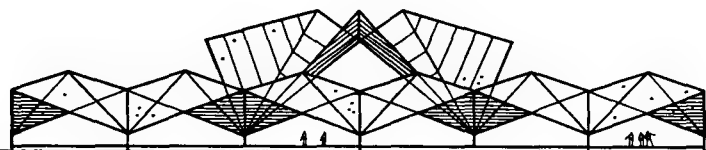
коньковые линии,  
восходящие к центру



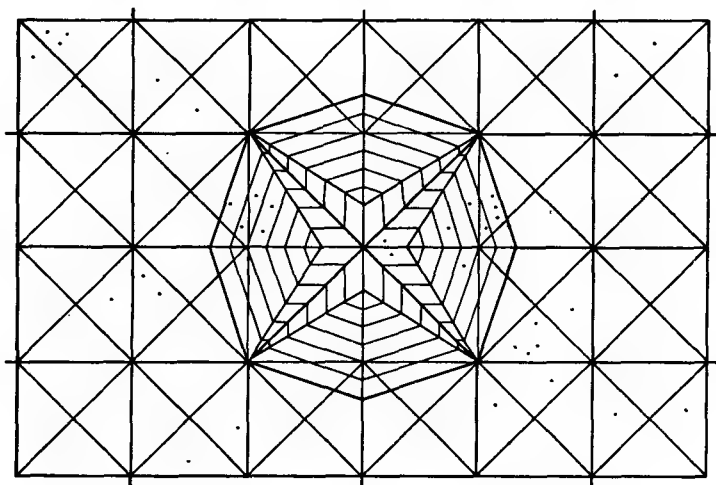
коньковые линии,  
нисходящие к центру

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ СКЛАДЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

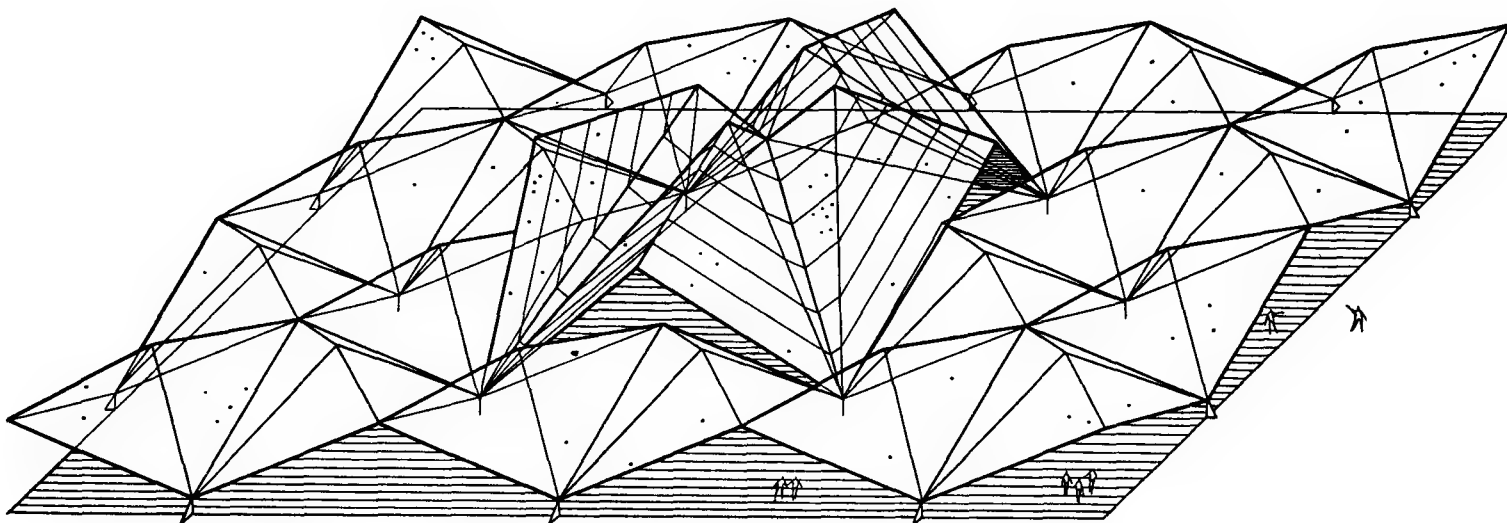
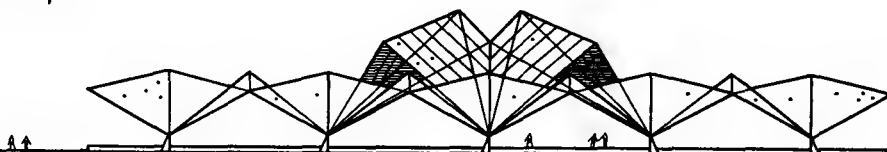
композиция крестообразных складчатых поверхностей над квадратным планом



вид спереди

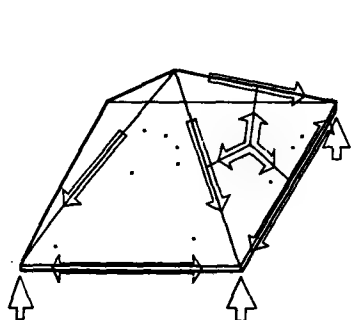


вид под углом 45°

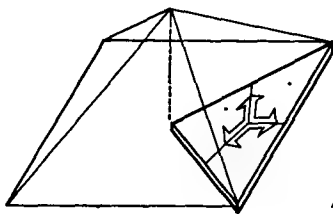




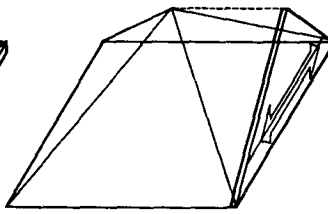
## ТРОЙНОЙ НЕСУЩИЙ ЭФФЕКТ ПИРАМИДАЛЬНОЙ СКАДЧАТОЙ ПЛИТЫ



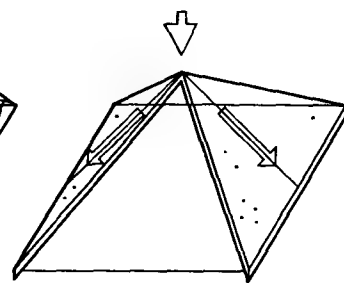
упрощенный силовой процесс



эффект плиты

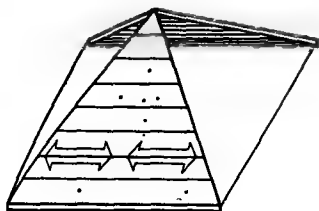


эффект панели

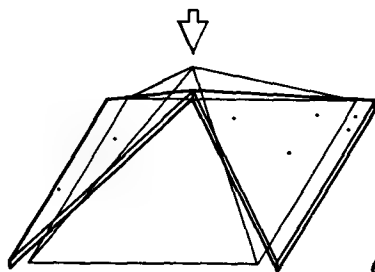


эффект фахверка (рамной конструкции)

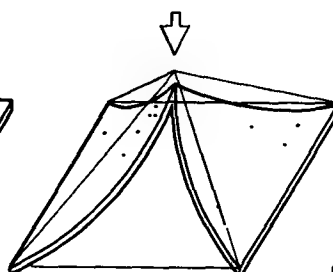
## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПРОТИВ ДЕФОРМАЦИИ СКАДЧАТОГО ПРОФИЛЯ



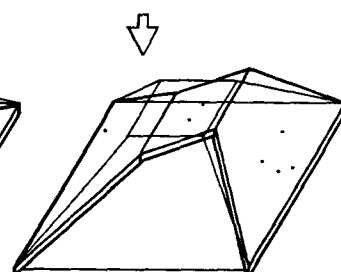
Каждая пара лежащих друг против друга плоскостей действует как жесткий элемент для другой пары.



сдвиг нижних контуров

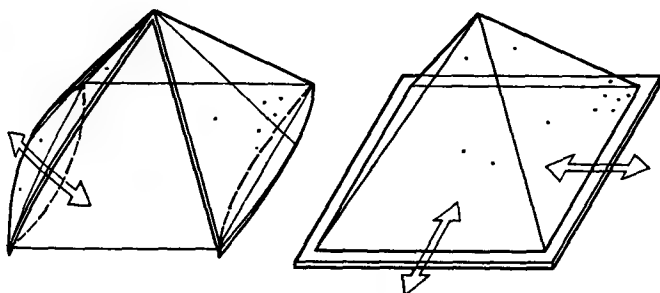


выпучивание отдельных стенок

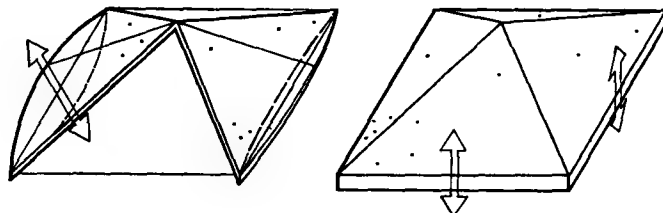


изменение угла складки

## ЖЕСТКОСТЬ ПРОТИВ КРИТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НИЖНЕГО КОНТУРА

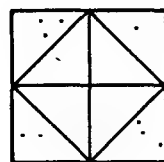
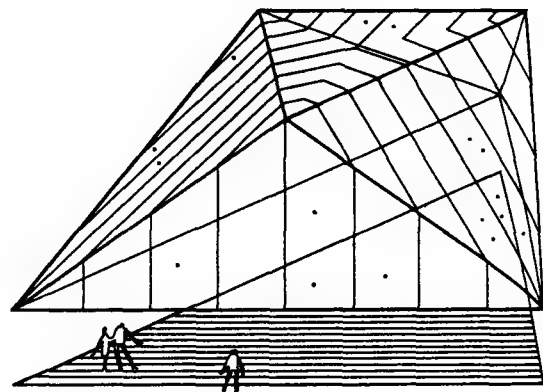
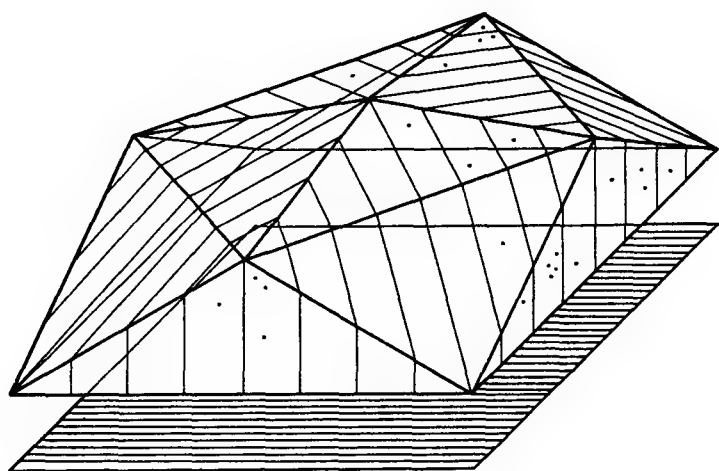


При отвесном наклоне поверхности основные компоненты выпучивания направлены горизонтально. Горизонтальный крайевой элемент жесткости



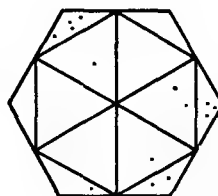
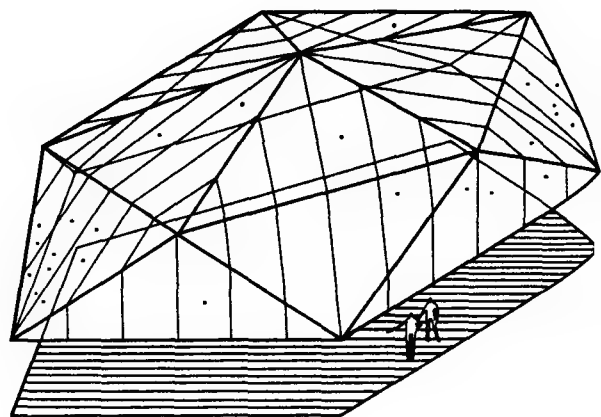
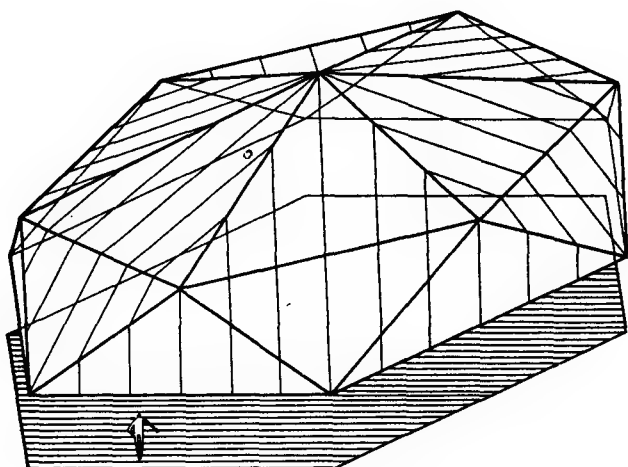
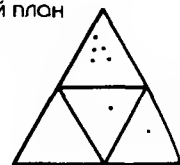
При небольшом наклоне поверхности основные компоненты выпучивания направлены вертикально. Вертикальный крайевой элемент жесткости

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



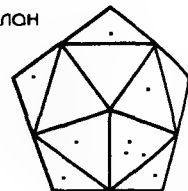
квадратный план

треугольный план



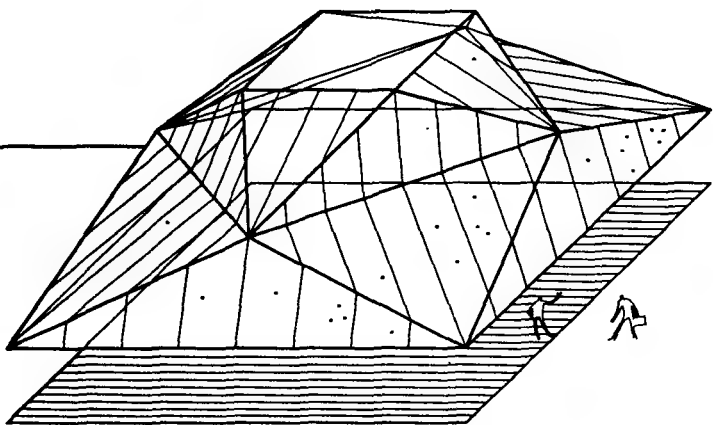
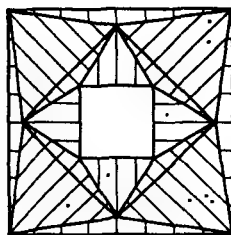
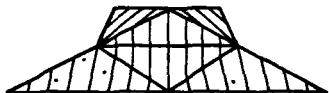
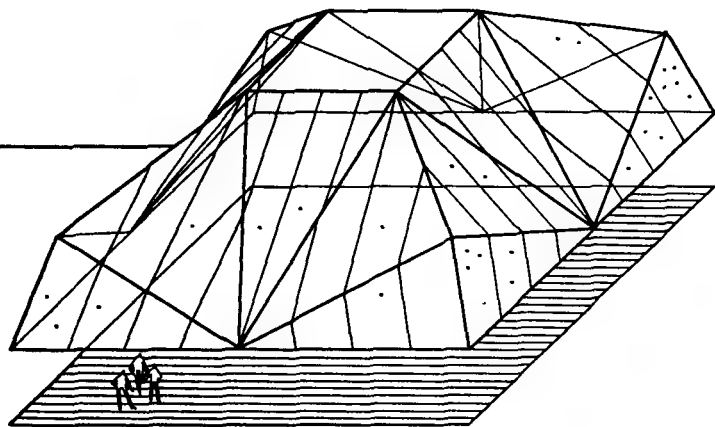
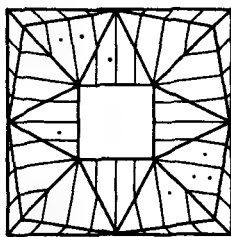
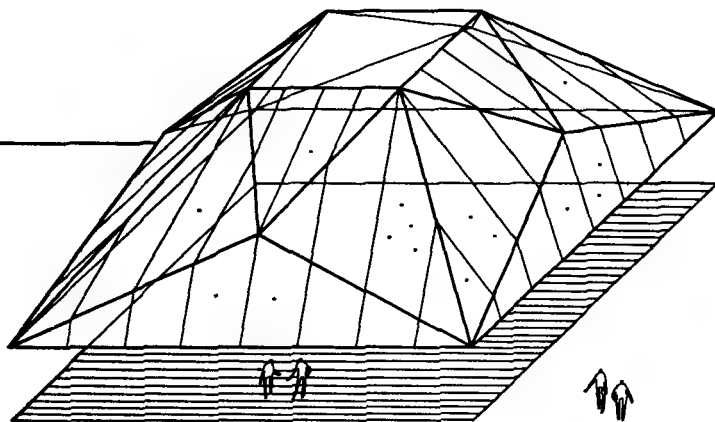
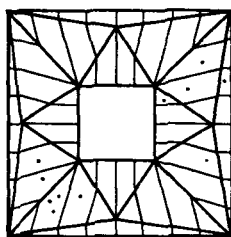
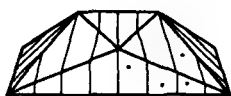
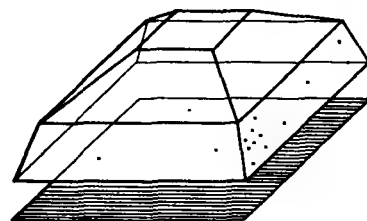
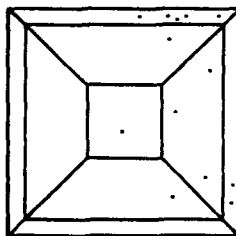
шестиугольный план

пятиугольный план

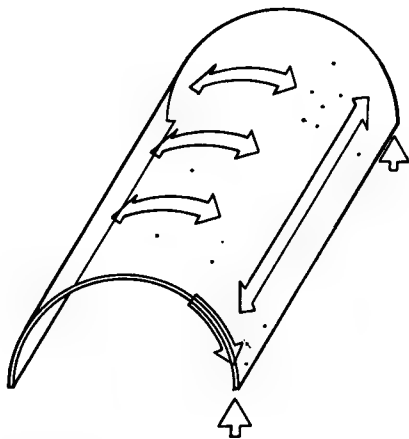


ВАРИАЦИИ СКЛАДЧАТОСТИ ЗАРАНЕЕ УСТАНОВЛЕННОЙ  
ОСНОВНОЙ ФОРМЫ

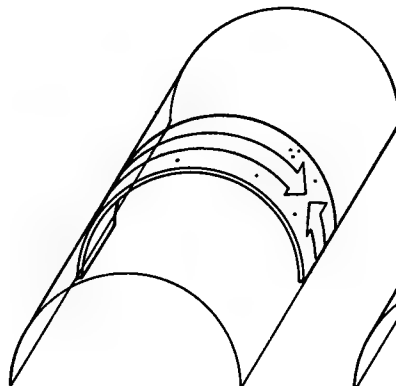
основная форма: дважды усеченная складчатая пирамида



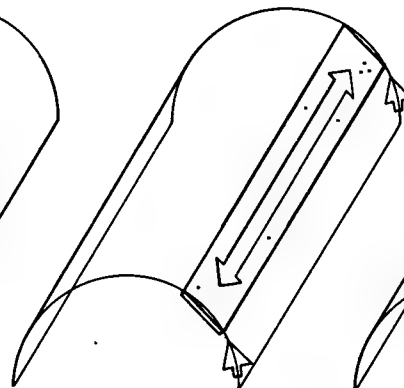
## ТРОЙНОЙ НЕСУЩИЙ ЭФФЕКТ ОДИНАРНО ИЗОГНУТОЙ ОБОЛОЧКИ



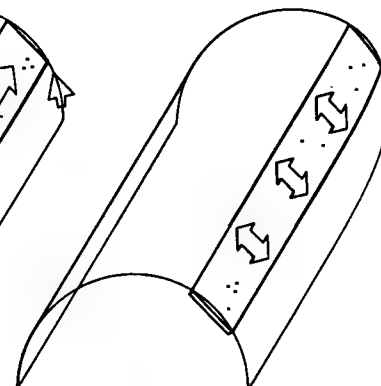
упрощенный силовой процесс



эффект несущей арки



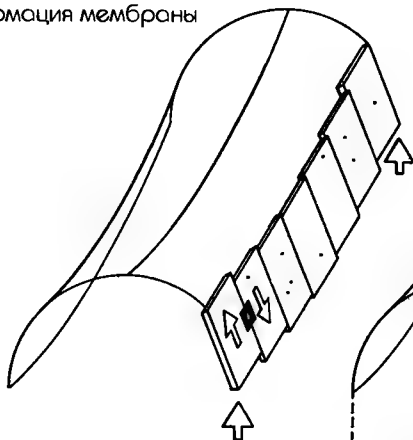
эффект панели



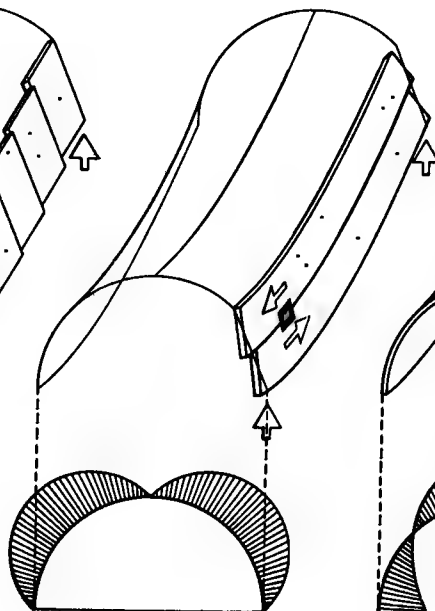
эффект плиты

## НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ ОДИНАРНО ИЗОГНУТОЙ ОБОЛОЧКИ

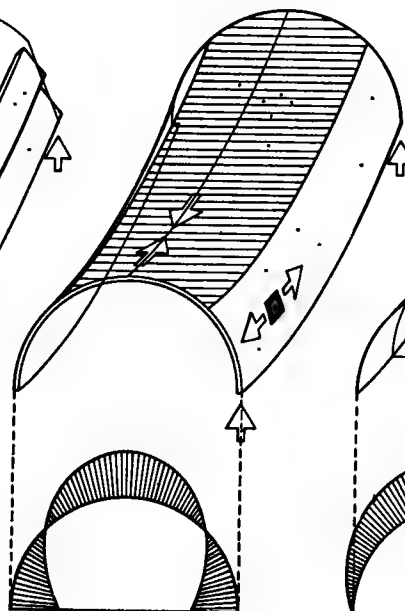
деформация мембраны



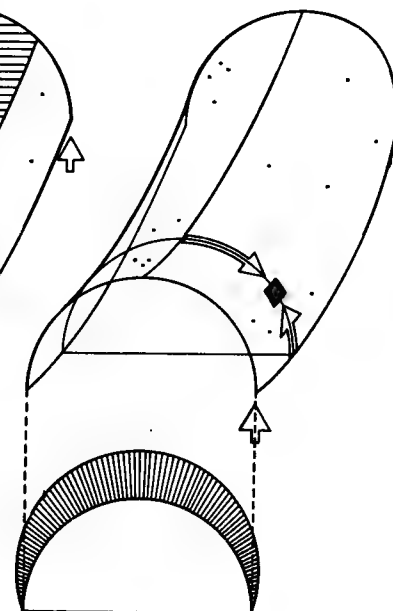
картина распределения напряжений мембранных усилий



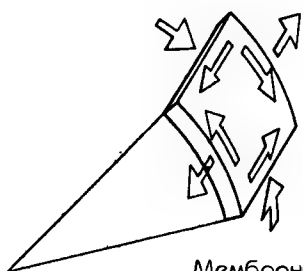
сдвигающие усилия мембраны



продольные усилия мембраны (растяжение / сжатие)



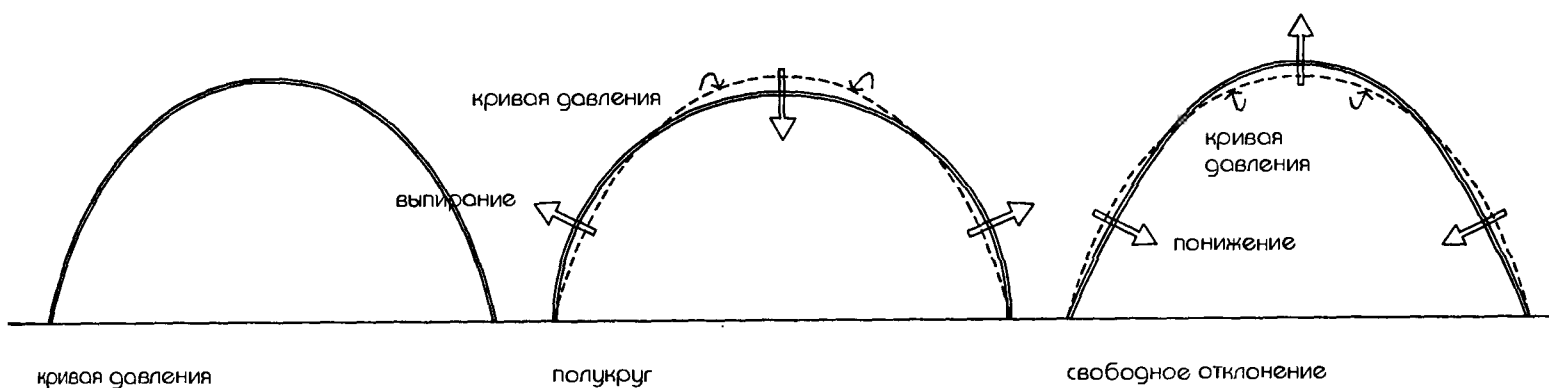
касательные усилия мембраны, кольцевые усилия (сжатие)



Мембранный элемент

Плоские элементы, как и в плите, напряженной над двумя жесткими крайними арками, деформируются от нагрузки до тех пор, пока не активизируются в достаточной степени нормальные и сдвигающие усилия, обеспечивающие передачу нагрузки на крайние арки.

## ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ НА ПРОДОЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ МЕМБРАНЫ

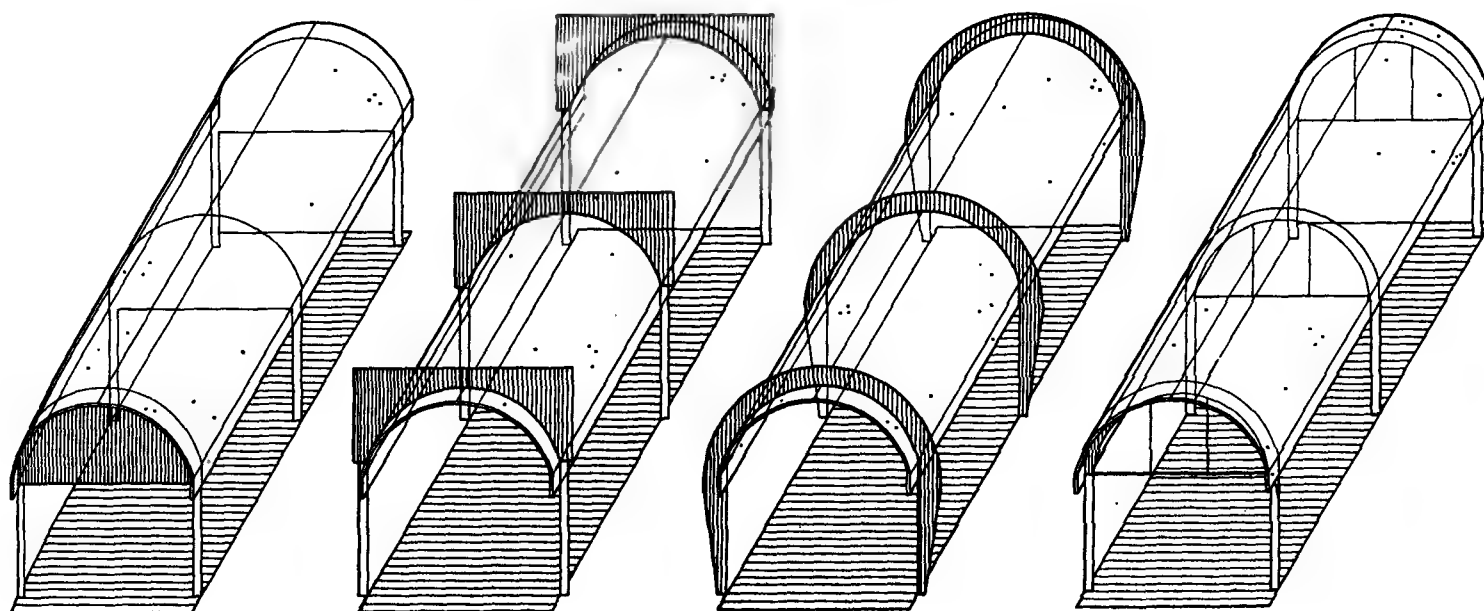
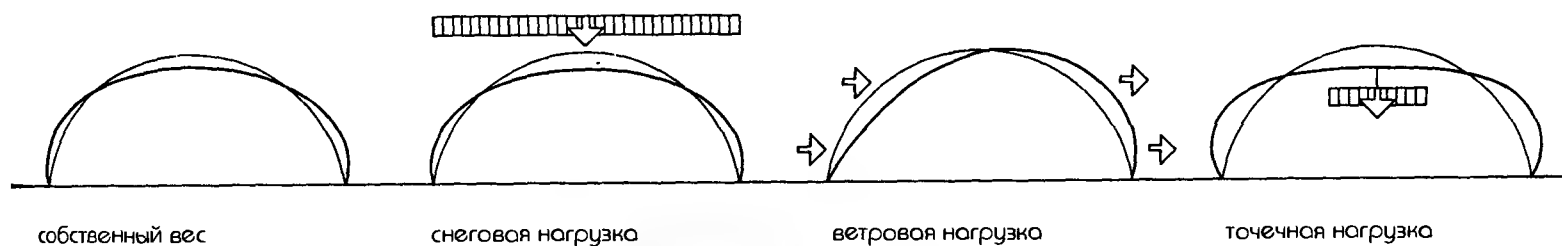


Если кривая поперечного сечения является кривой давления, то усилия от собственного веса передаются на края оболочки и несущая способность мембраны в продольном направлении не используется (сдвигающие и продольные усилия = 0). Только

благодаря выбору кривой поперечного сечения, отклоняющейся от опорной линии, мембрана нагружается в продольном направлении и только в соответствии с величиной этого отклонения.

Жесткость против критической деформации профиля поперечного сечения

• Стандартные формы элементов жесткости поперечного сечения



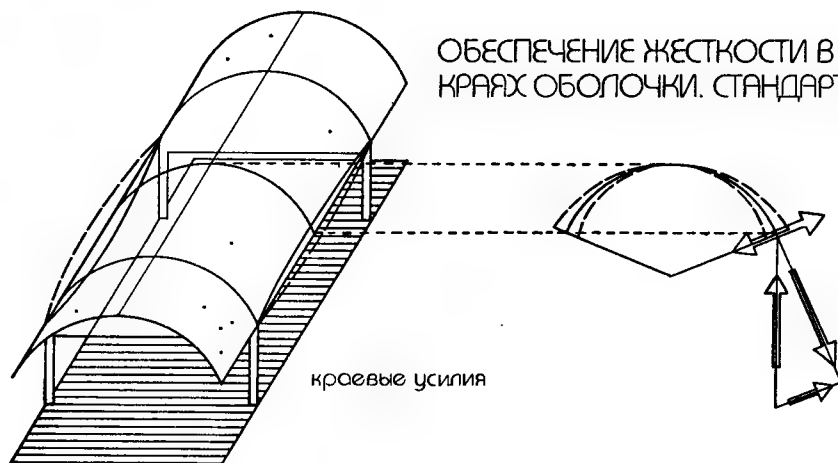
расположенная снизу  
поперечная диафрагма  
жесткости

расположенная сверху  
поперечная диафрагма  
жесткости

рамные конструкции

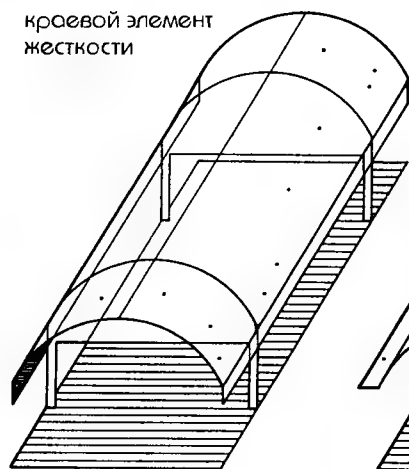
арки с затяжкой

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕСТИКОСТИ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ В НЕОПЕРТЫХ КРАЯХ ОБЛОЧКИ. СТАНДАРТНЫЕ ФОРМЫ КРАЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕСТИКОСТИ

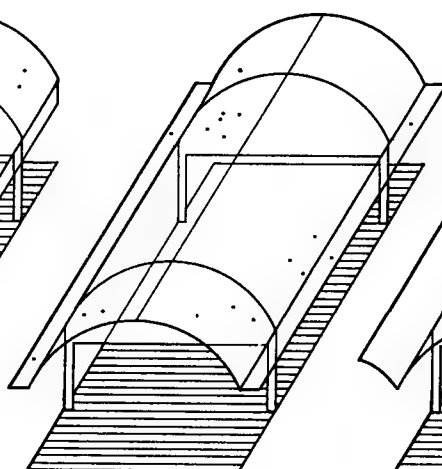


При наклонном направлении равнодействующих усилий по кромке оболочки возникает распор, который подвергает кромку изгибающему напряжению. Он воспринимается благодаря продольной жесткости контура, однако возникает изгибающий момент из-за разницы жесткости оболочки и краевого элемента.

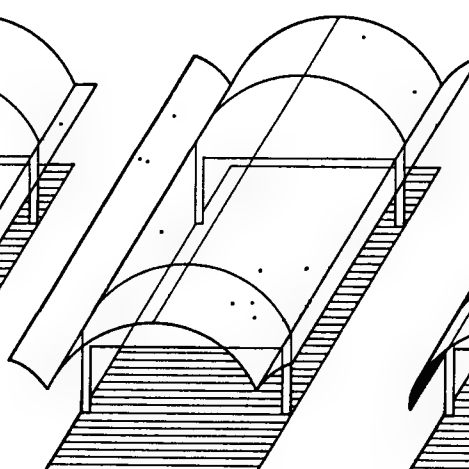
краевой элемент жесткости



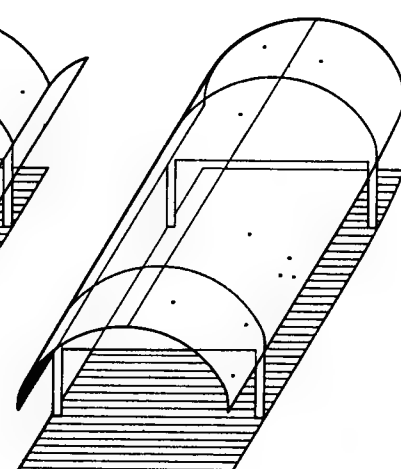
вертикальный краевой элемент



горизонтальный краевой элемент



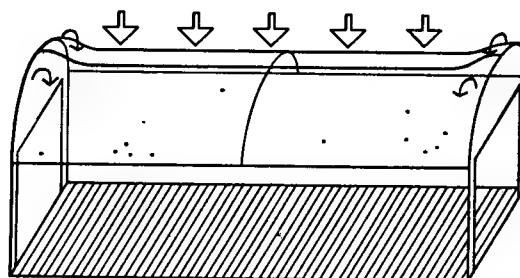
сопряжение оболочек



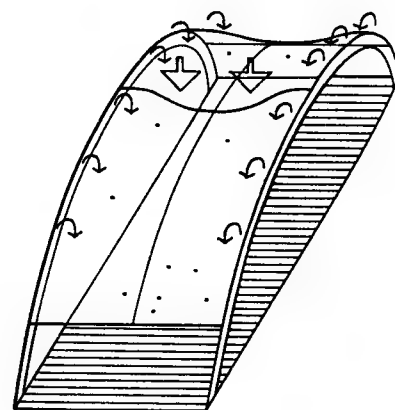
орка с вертикальной краевой кромкой

Изгибающие усилия при наличии поперечных элементов жесткости в длинной и короткой цилиндрической оболочке

Кольцевые усилия (сжатие) вызывают деформацию поперечных волокон и перемещение вершины арки. Около поперечных элементов жесткости отсутствует деформация, но возникает изгиб. В длинной цилиндрической своде-оболочке изгибающие усилия ограничены на узкой конечной плоскости. В короткой цилиндрической своде-оболочке из-за большего радиуса и меньшего расстояния между краевыми арками изгибающие усилия распределяются на большей поверхности.



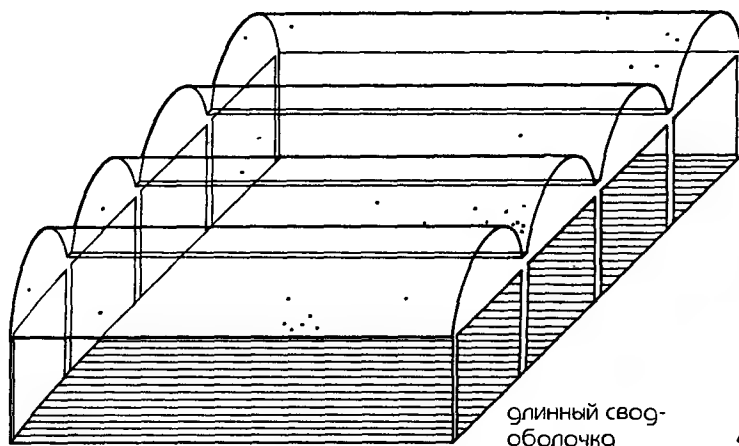
длинный свод-оболочко



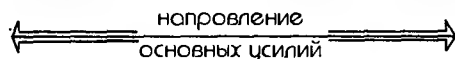
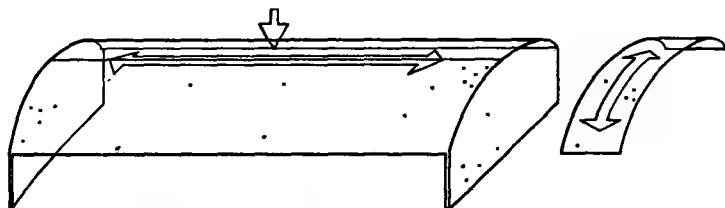
короткий свод-оболочко

## РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ДЛИННЫМИ И КОРОТКИМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ СВОДАМИ-ОБОЛОЧКАМИ

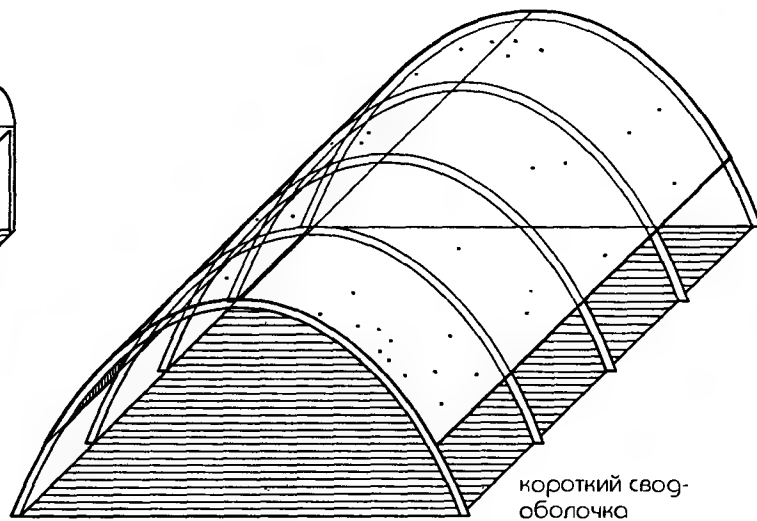
направление усилий и расширение системы



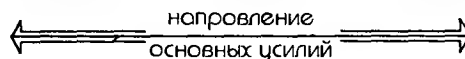
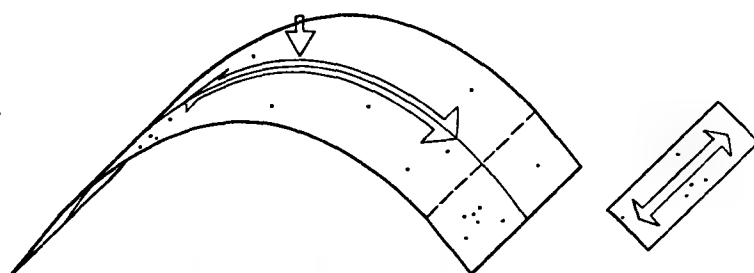
длинный свод-оболочка

система расширения: параллельная  
установка новых элементовнесущий механизм —  
схема восприятия усилий

Несущий механизм основан, главным образом, на эффекте панели. Изгибающее действие (подвешивание, опирание) вторично и служит отведению нагрузок.



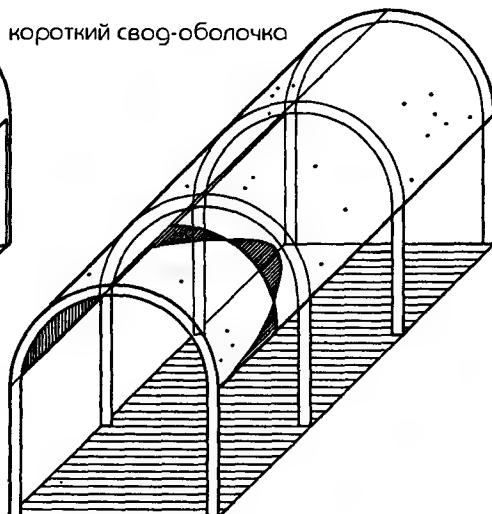
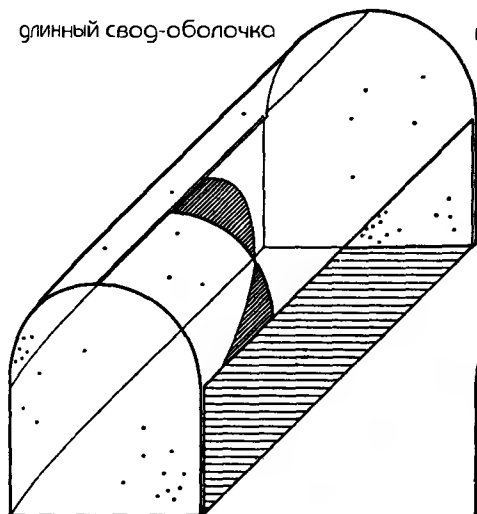
короткий свод-оболочка

система расширения: удлинение суще-  
ствующих элементов

Механизм восприятия усилий основан, главным образом, на эффекте арки (формы кривой давления). Эффект панели вторичен и служит для передачи нагрузок.

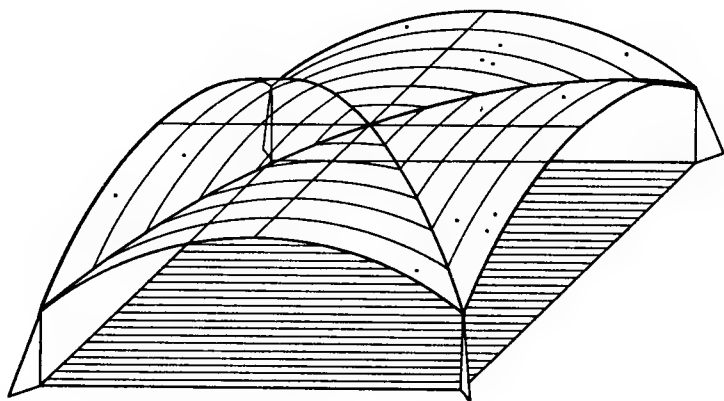
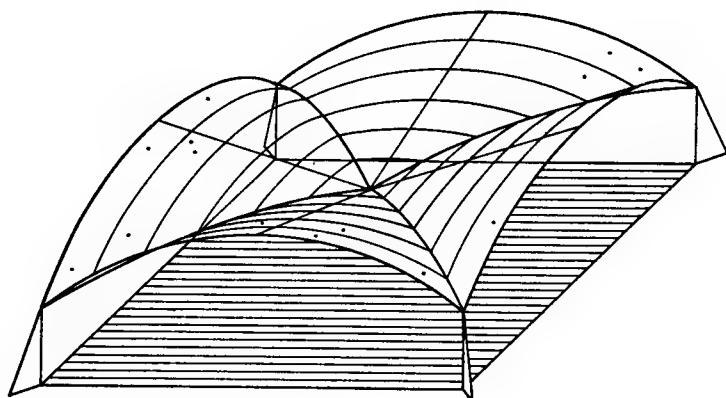
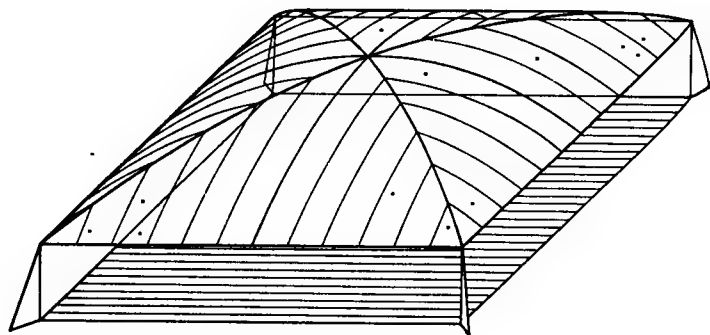
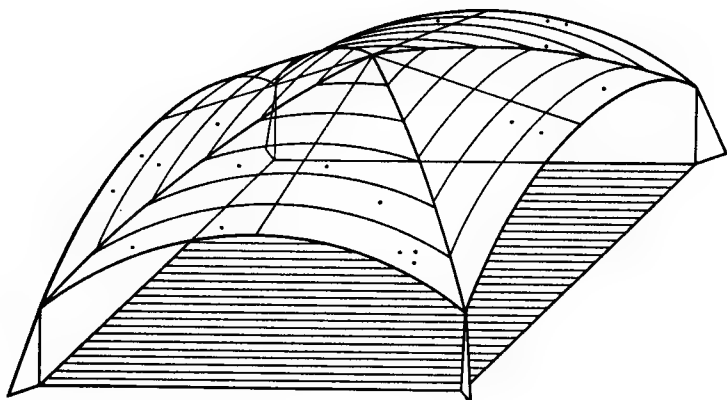
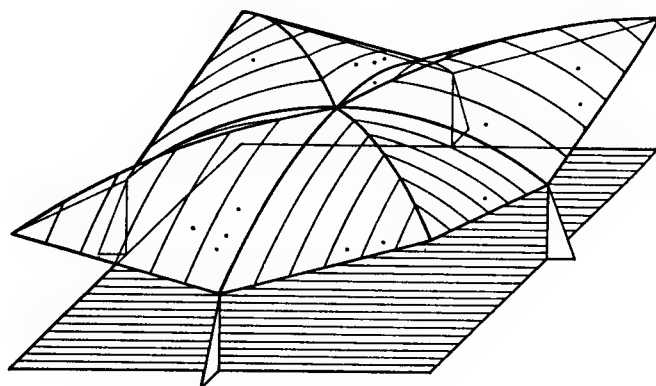
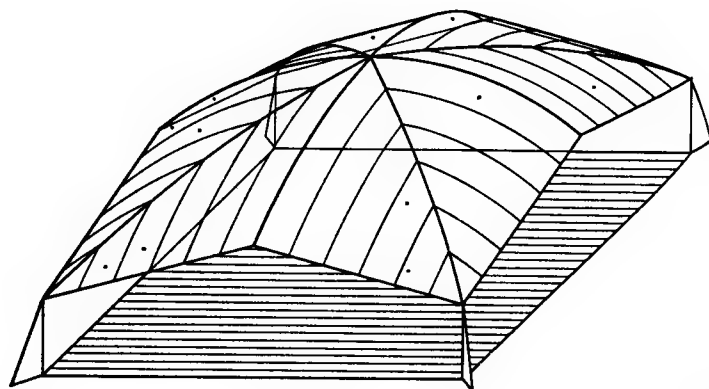
длинный свод-оболочка

короткий свод-оболочка



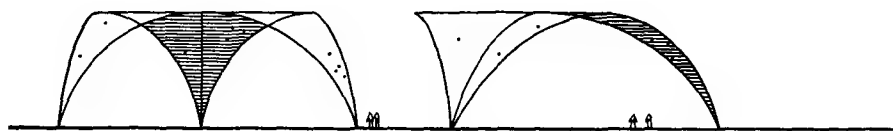
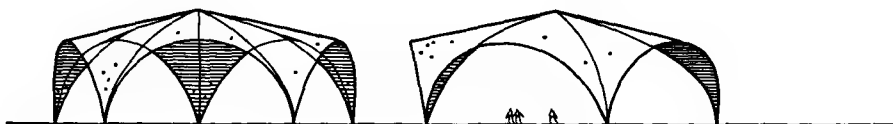
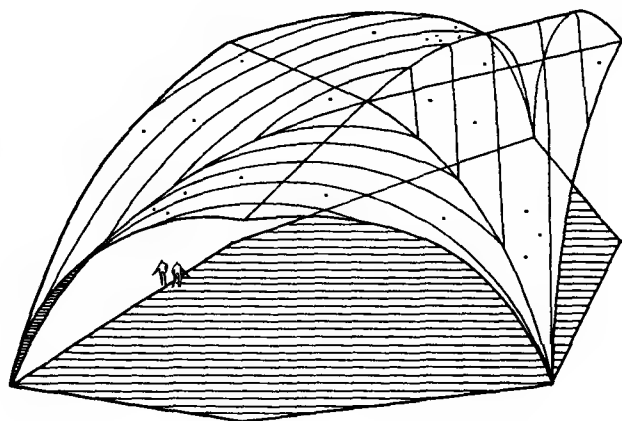
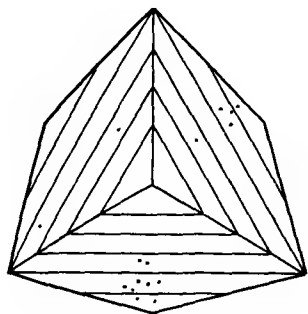
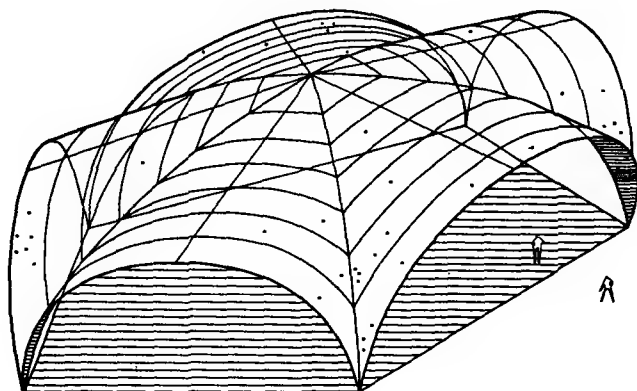
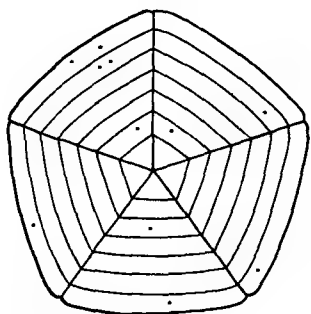
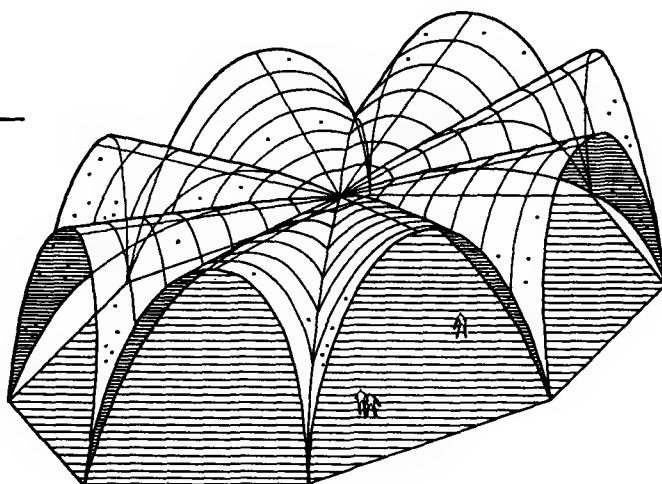
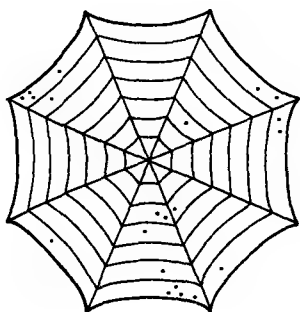
При укороченном своде влияние деформации поперечного профиля усиливается, вертикальная проекция продольных напряжений больше не прямолинейна (как в балке), а искривлена, и в верхней зоне оболочки возникает растяжение.

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

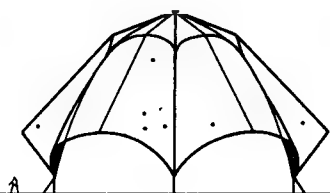
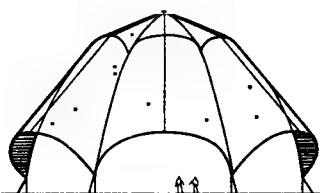
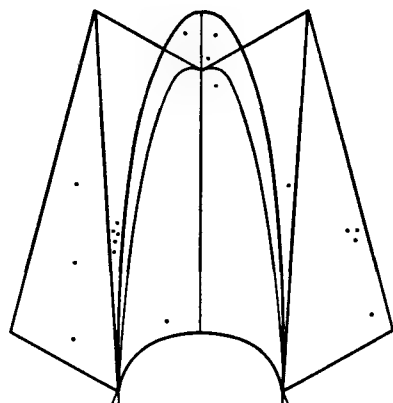
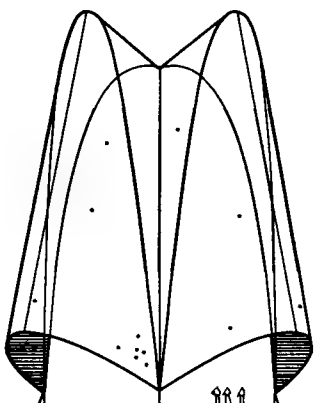
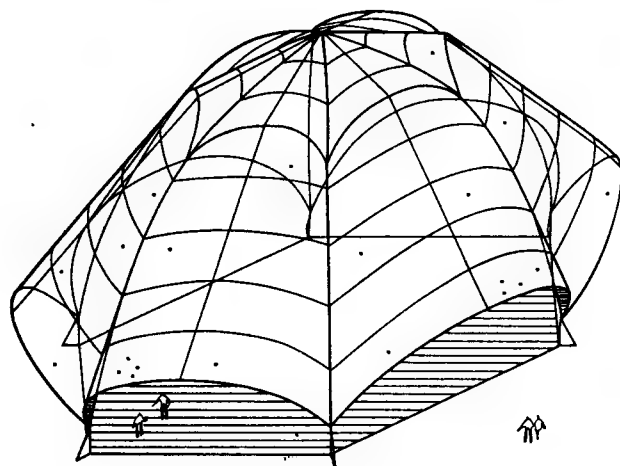
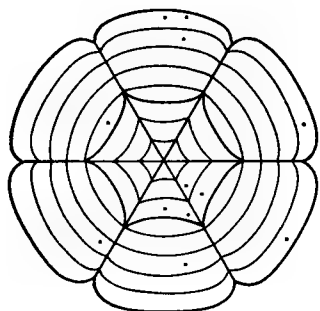
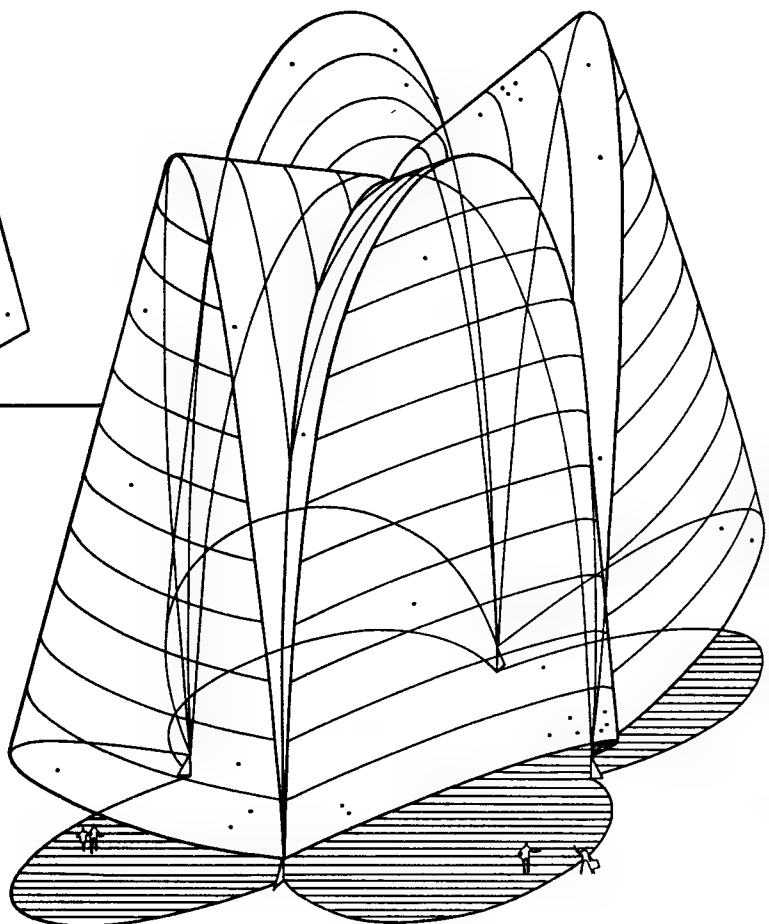
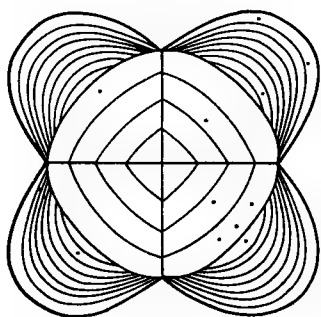
Создание поверхностей  
на одном уровнеСоздание поверхностей,  
нисходящих к центруСоздание поверхностей,  
восходящих к центру



## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

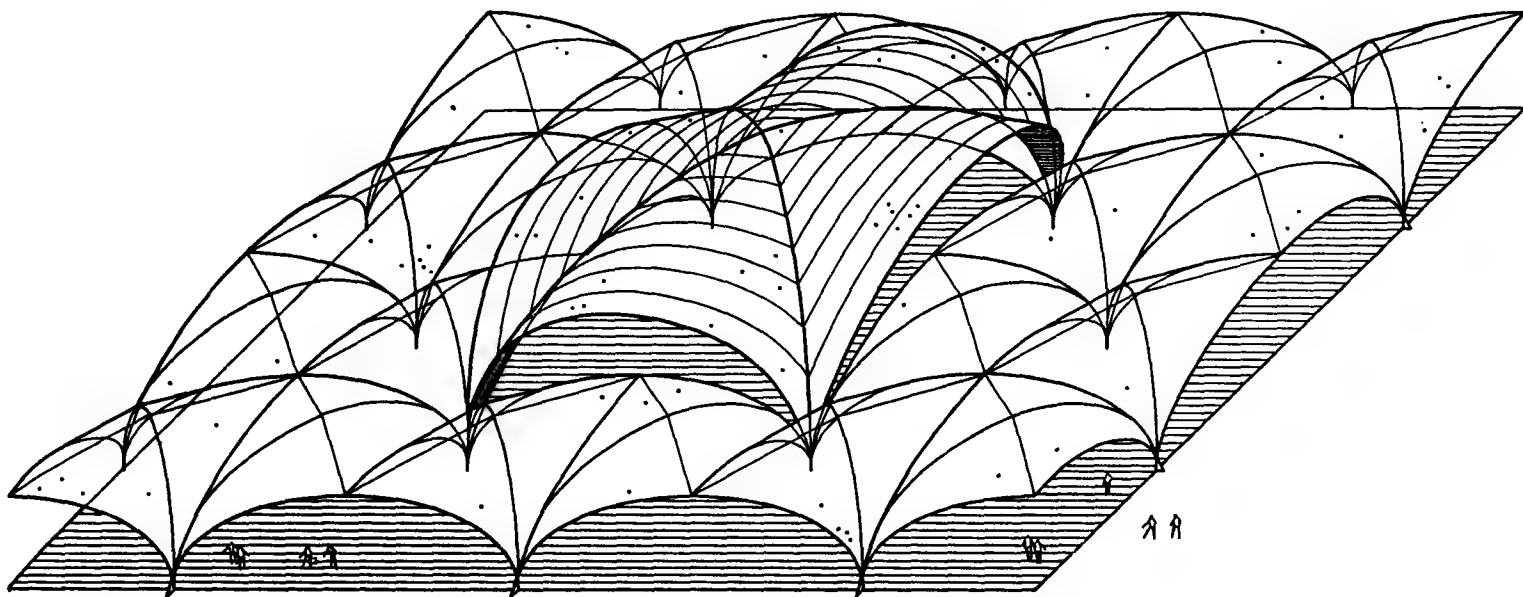
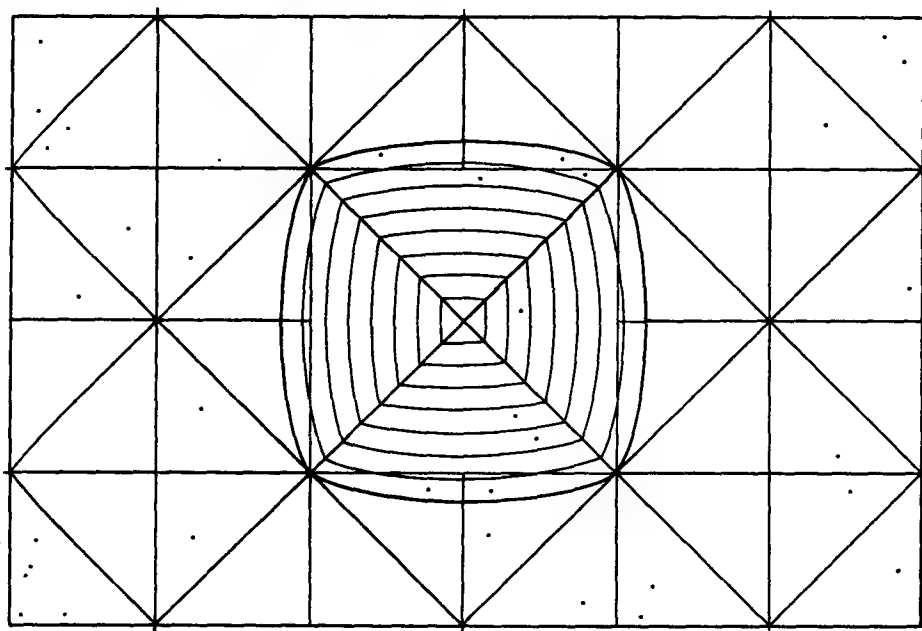
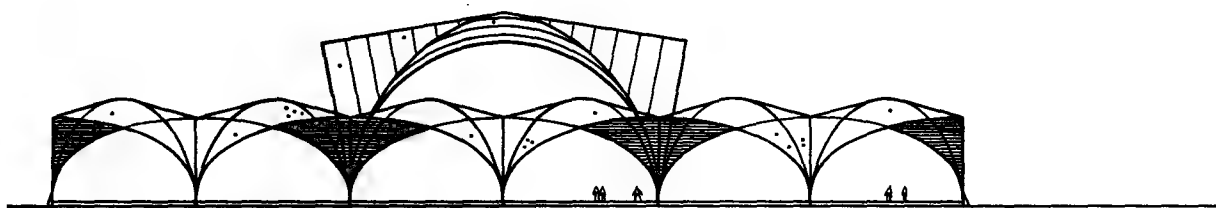
шестиугольный план с тремя  
цилиндрическими сегментамипятиугольный план с восходя-  
щими к центру сегментамиВосьмиугольный план с нисхо-  
дящими к центру сегментами

## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ СКЛАДЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

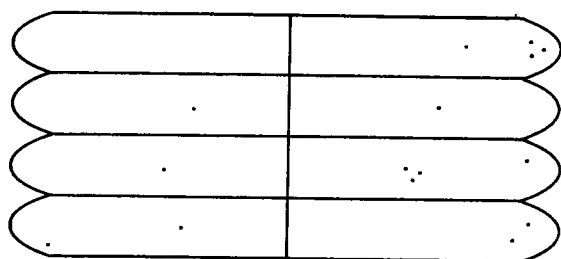
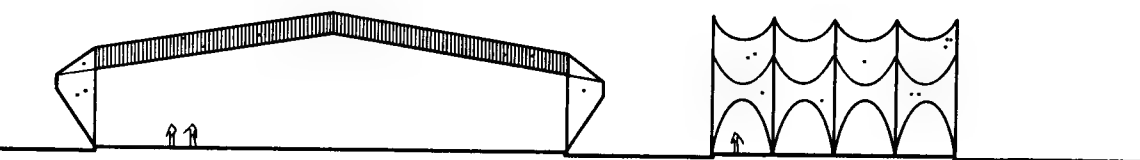
шестиугольный план, восходя-  
щие цилиндрические сегментыплан крестообразной  
формы = стоящие сегменты

## НЕСУЩАЯ СИСТЕМА ИЗ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ СКЛАДЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

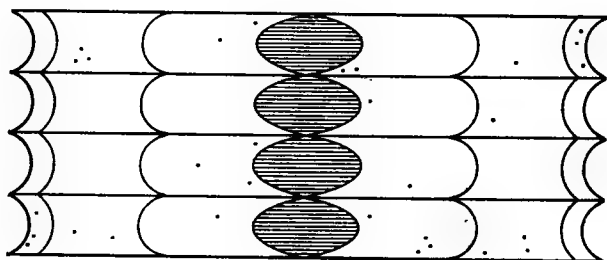
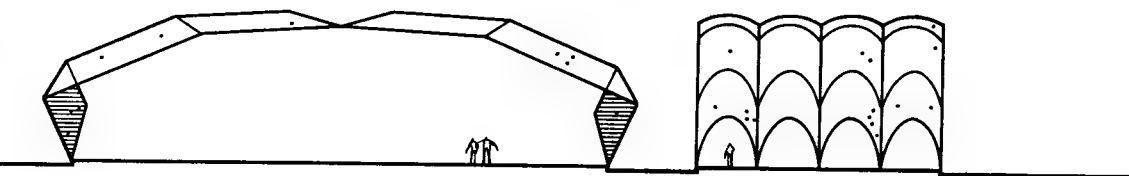
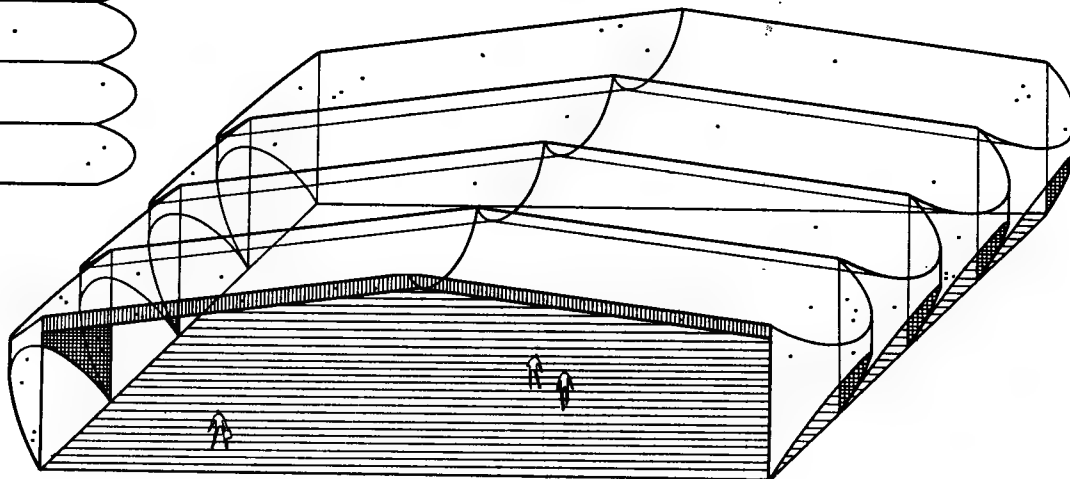
Композиция из диагонально перекрещивающихся поверхностей над квадратным растром



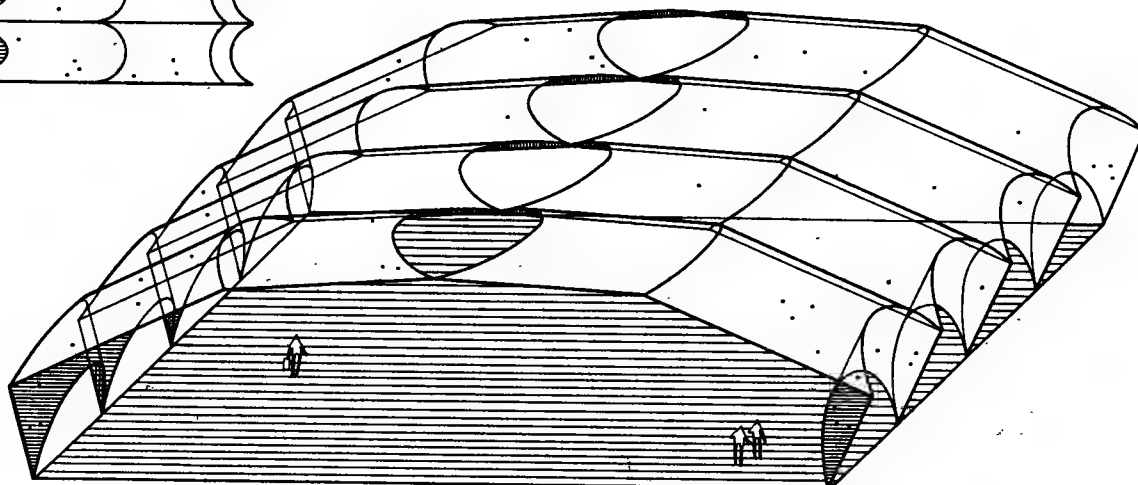
## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



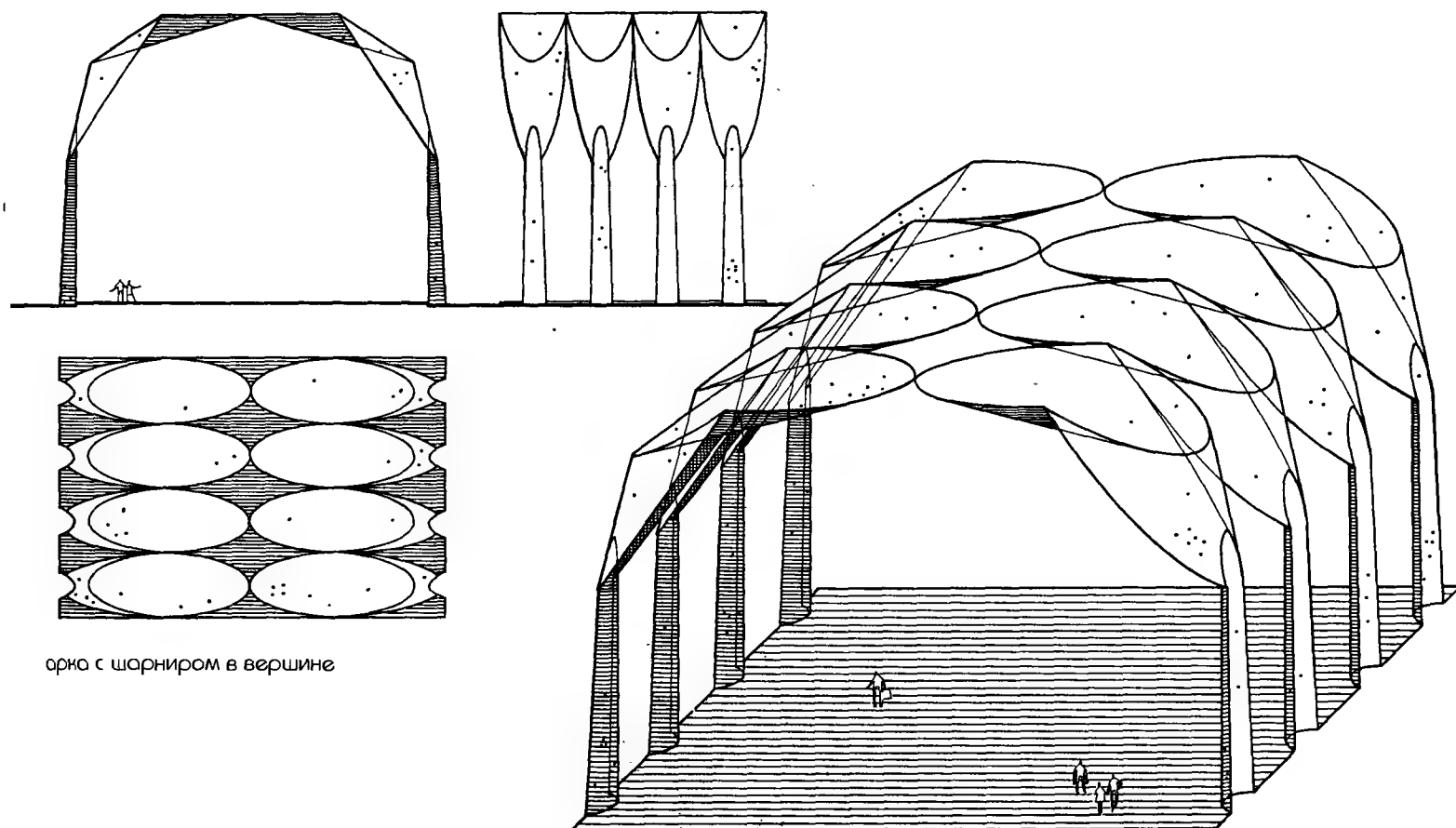
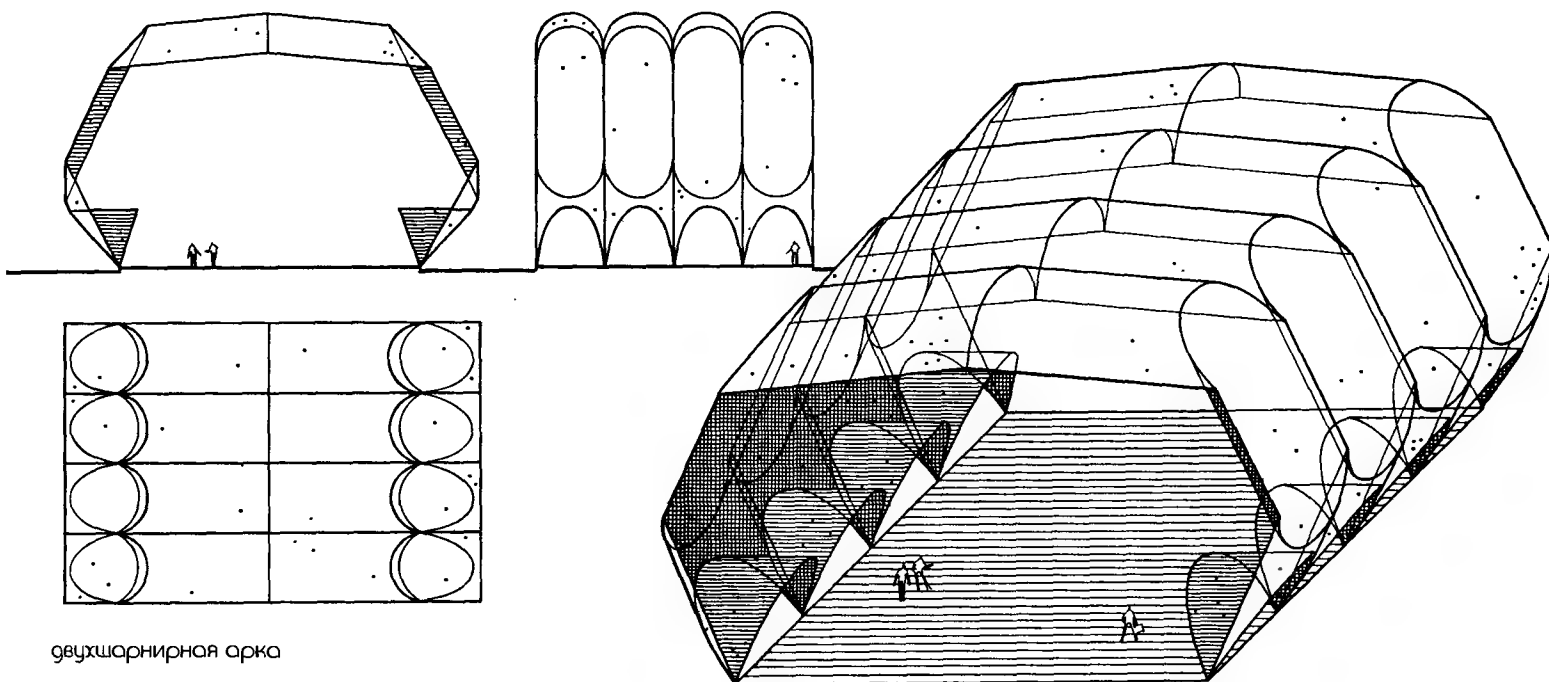
двухшарнирная рама



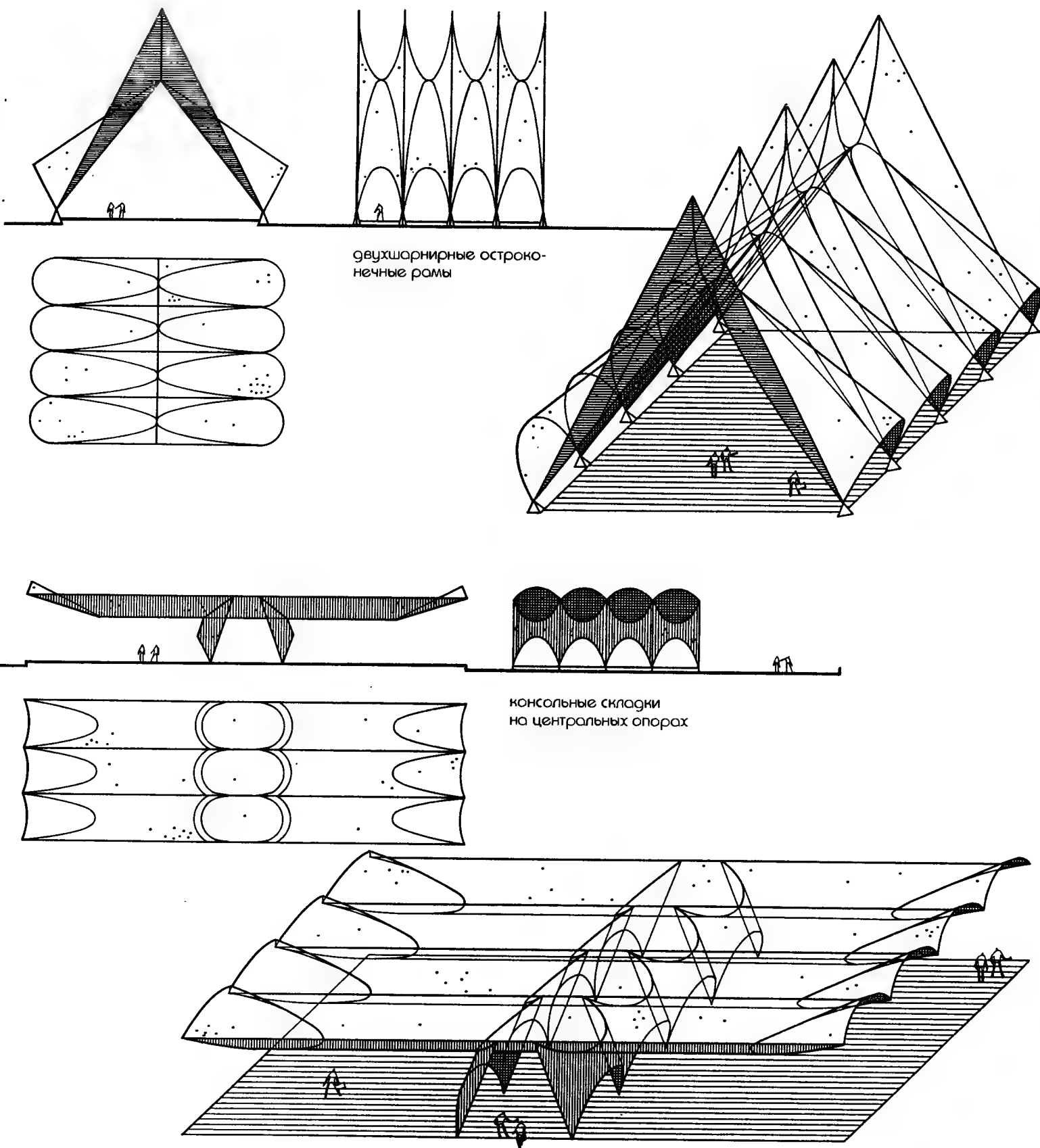
трехшарнирная рама



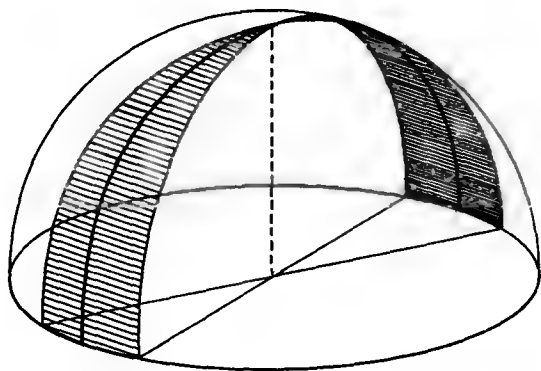
## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



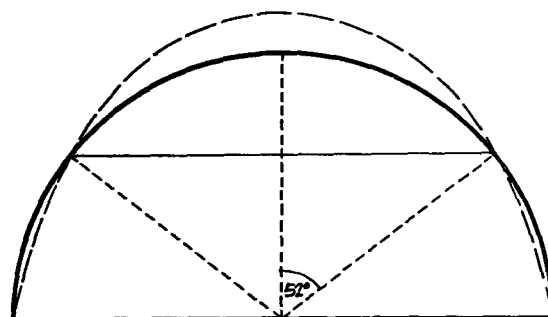
## ЛИНЕЙНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ СКЛАДЧАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



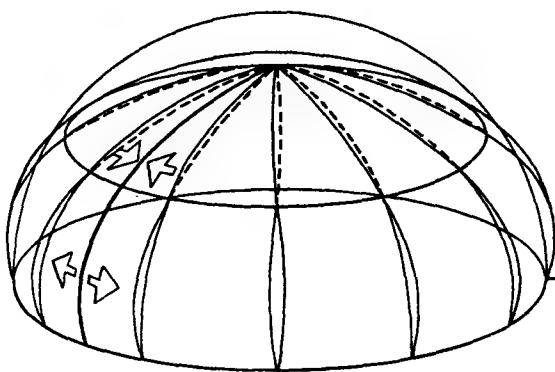
## НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ (ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ)



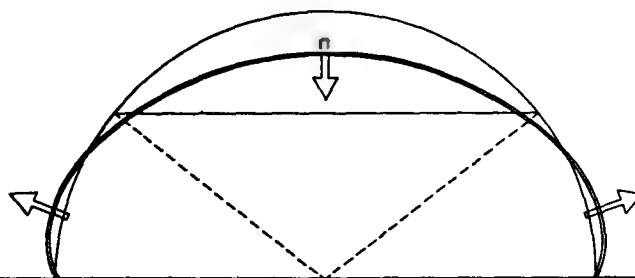
деление на сегменты



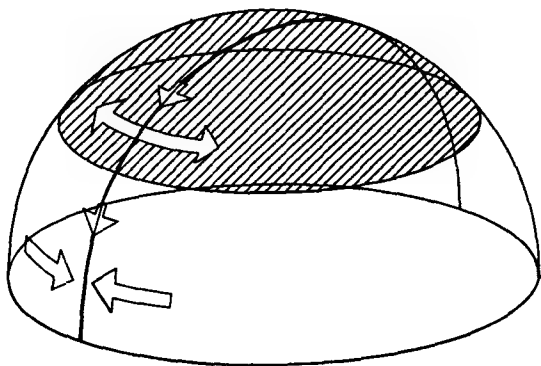
Кривая поперечного сечения двух противоположных сегментов совпадает с опорной линией. Точка отклонения находится на высоте  $52^\circ$  от вершины



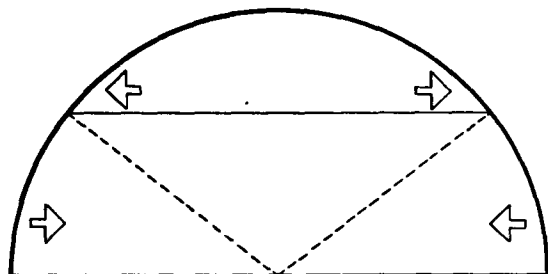
деформация сегментов



Верхние части сегментов снижаются и соединяются внахлест с их контурами при уменьшающемся закруглении. Нижние части стремятся наружу, закругление увеличивается.



эффект кольцевой формы

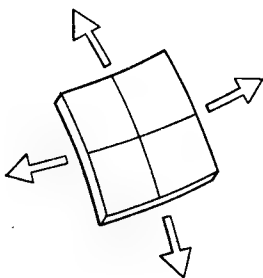
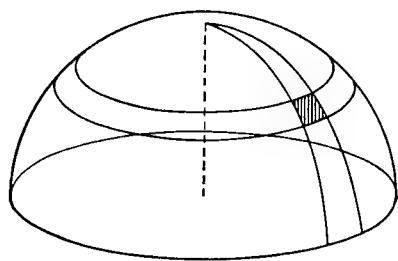


Непрерывные кольцевые части оболочки препятствуют деформации, причем верхняя часть оболочки ведет себя как наложенные друг на друга сжатые кольца, нижняя — как растянутые кольца.

Способность сферической оболочки воспроизводить кольцевые усилия предотвращает отклонение мембраны вовнутрь или наружу, которое возникает вследствие отступления от меридиальной опорной линии. Эта способность допускает, таким образом, профили поперечного сечения оболочек вращения, не являющиеся кругом.

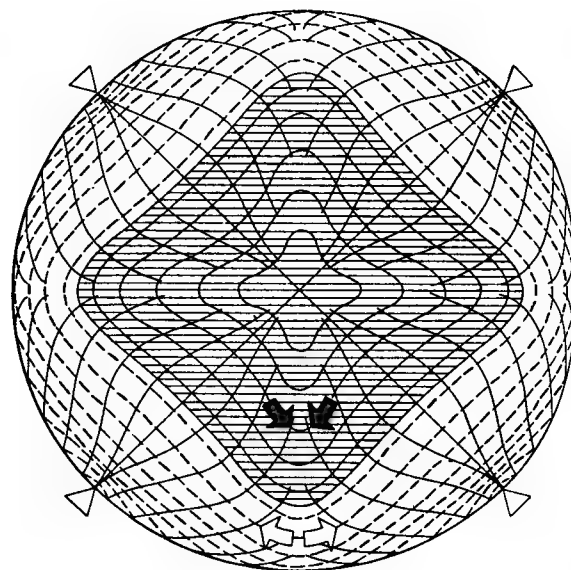
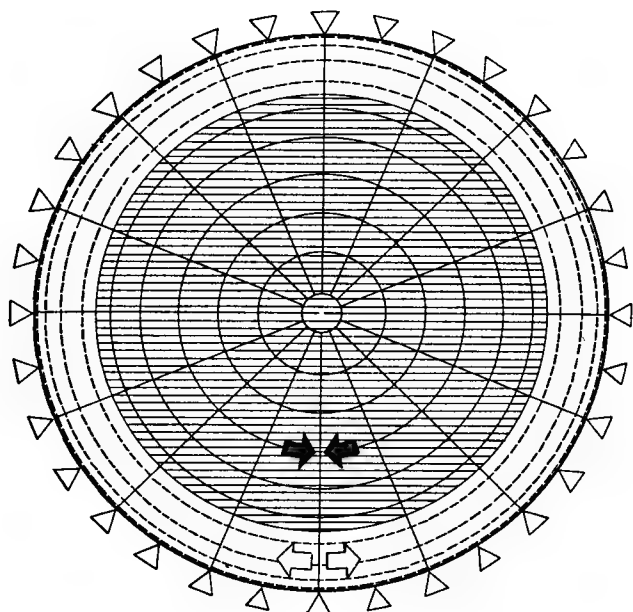
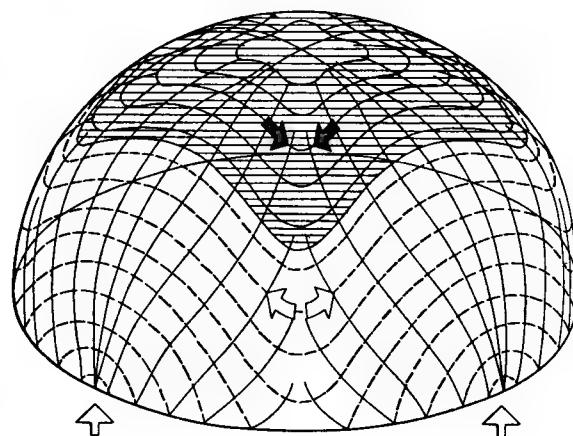
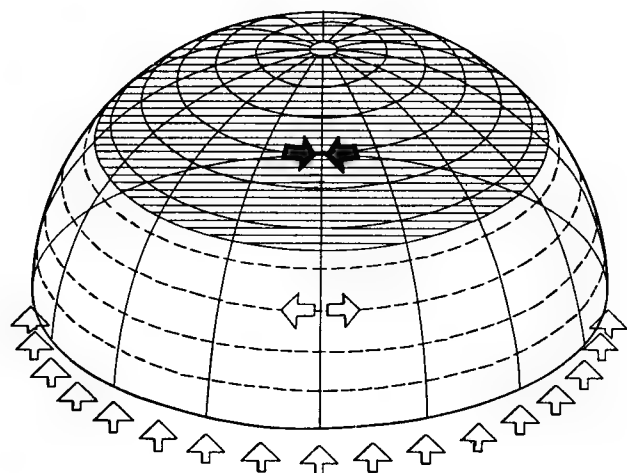
диagonalной опорной линии. Эта способность допускает, таким образом, профили поперечного сечения оболочек вращения, не являющиеся кругом.

## МЕМБРАННЫЕ УСИЛИЯ В ОБОЛОЧКЕ ВРАЩЕНИЯ ПОД СИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ



Вырезанный элемент оболочки сохраняется в равновесии только благодаря мембранному и кольцевому усилию. Из-за симметричной нагрузки срезающие усилия не возникают ни в одном из поперечных сечений.

## ПРОЦЕСС СОПРОТИВЛЕНИЯ В СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ ПОД СИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ

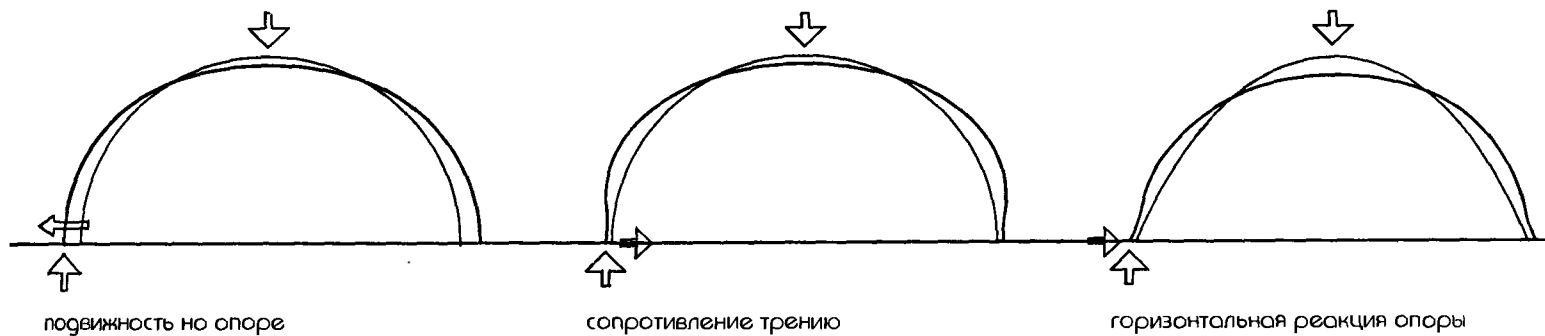


усилия совершаются в направлении меридиан и параллелей

направление меридиональных и кольцевых усилий изменено согласно магнитному полю



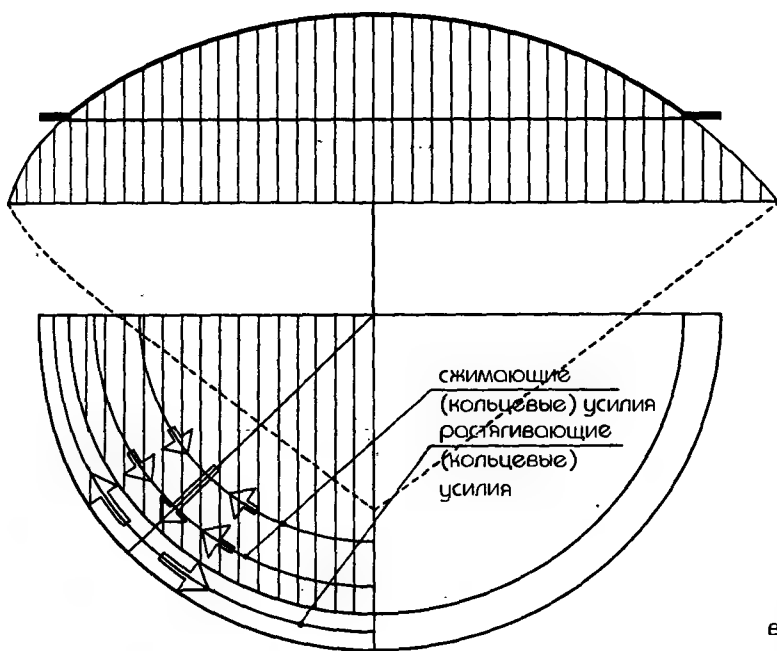
## ИЗГИБ НИЖНЕГО КОНТУРА ОБОЛОЧКИ: КРАЕВЫЕ НАРУШЕНИЯ



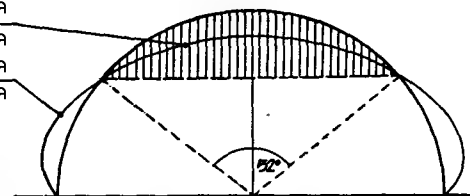
При подвижной опоре край оболочки может беспрепятственно перемещаться: чисто мембранные напряжения. Если, однако, движение ограничивается трением опоры, то возникают изгибаю-

щие моменты. То же самое происходит, если у наклонной краевой касательной расположено опорное кольцо, растяжение которого отличается от растяжения нижнего контура оболочки.

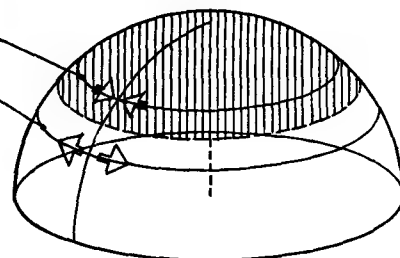
## УМЕНЬШЕНИЕ КРАЕВЫХ МОМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПОРНОГО КОЛЬЦА



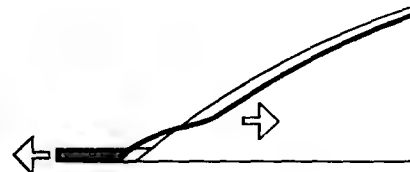
положительная  
деформация  
отрицательная  
деформация



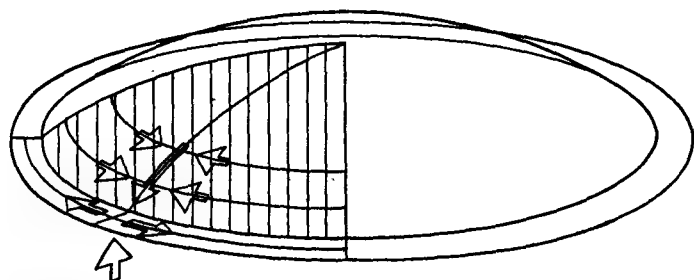
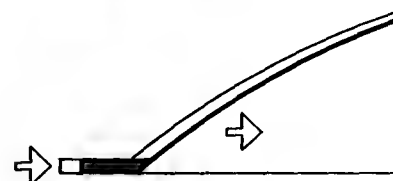
сжимающие  
(кольцевые) усилия  
растягивающие  
(кольцевые) усилия



встречная кольцевая деформация  
нижней кромки оболочки и опор-  
ного кольца по причине встречных  
кольцевых усилий



Одинаковое направление кольце-  
вых усилий благодаря предвари-  
тельному напряжению опорного  
кольца и тем самым исключение  
противоположной кольцевой  
деформации

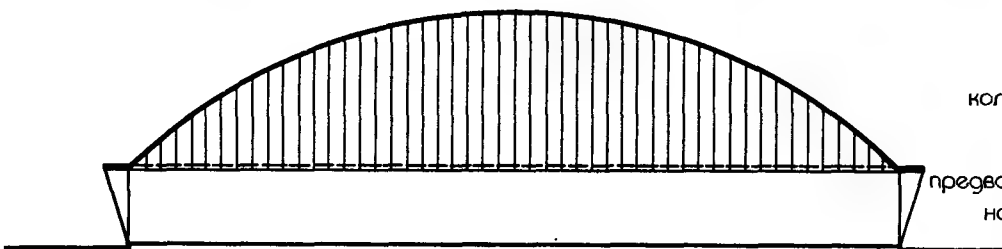


кольцевые усилия пологих  
сферических оболочек

с натяжным кольцом по контуру  
оболочки

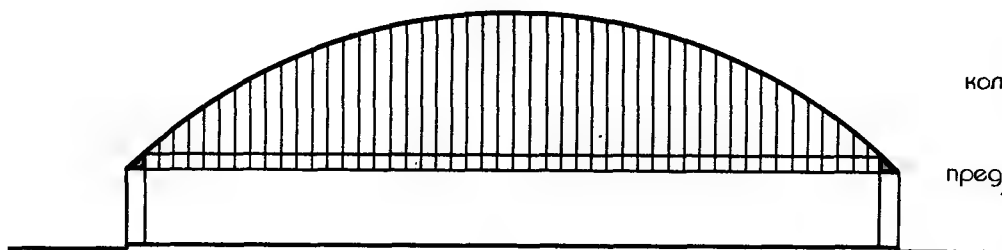
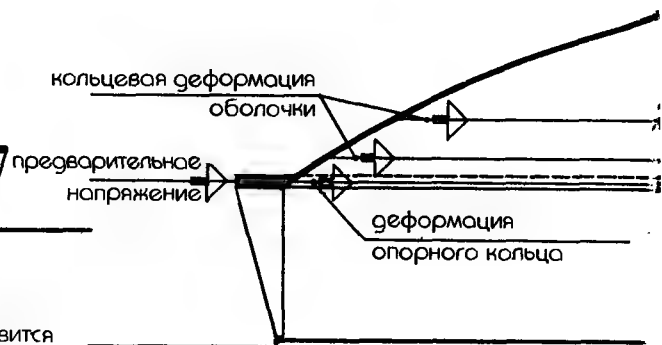
уменьшение изгибающих усилий в нижнем  
контуре оболочки

## ОБРАЗОВАНИЕ ОПОРНОГО КОНТУРА В ПОЛОГИХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ



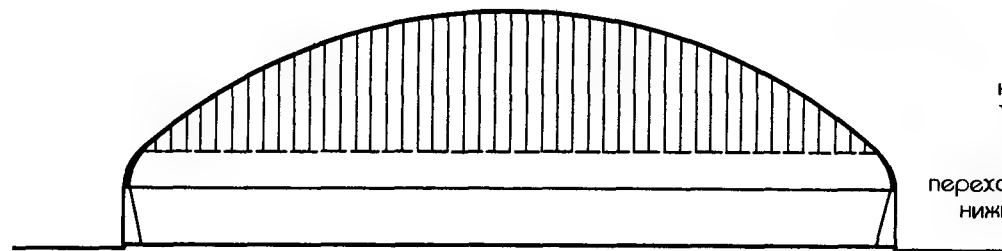
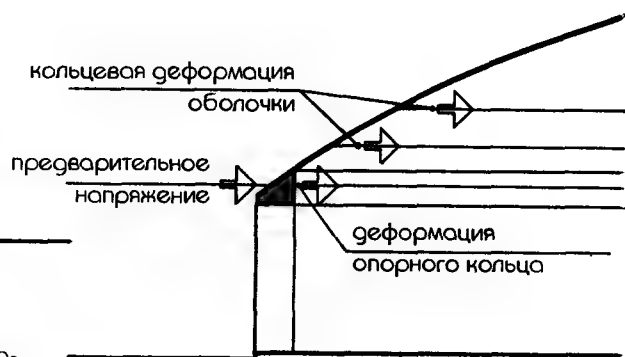
предварительное напряжение расположенного снаружи опорного кольца

Центробежная деформация натяжного кольца переориентируется и становится одинаково направленной с центростремительной деформацией оболочки.



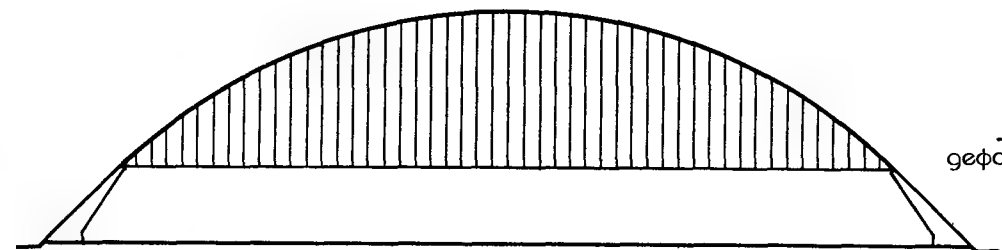
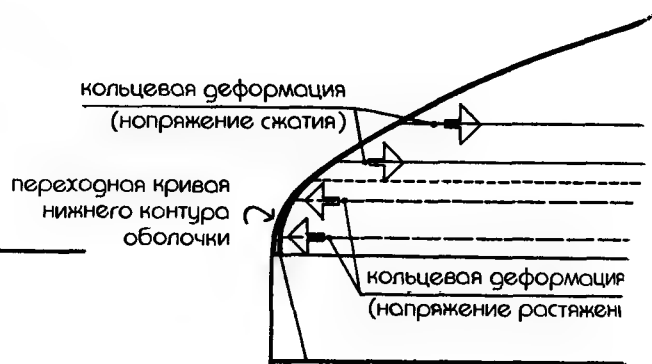
предварительное напряжение расположенного внутри опорного кольца

Механизм уменьшения краевых усилий основан, как и выше, на переориентации деформационной тенденции.



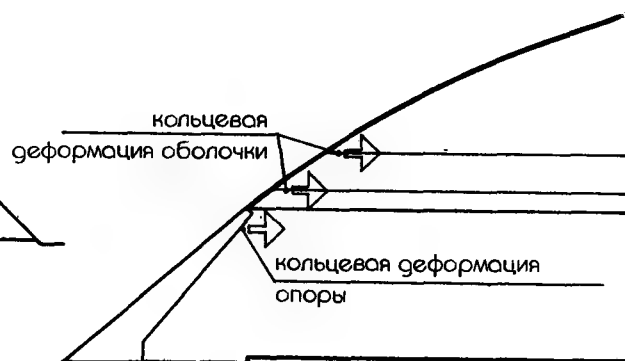
вертикальное замыкание с помощью переходной кривой

Замена центростремительной деформации на центробежную происходит постепенно и внутри оболочки.

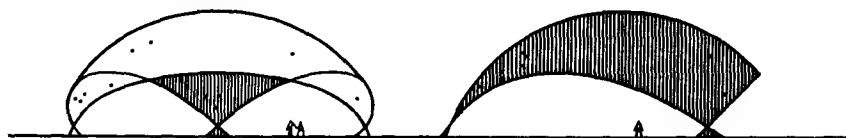
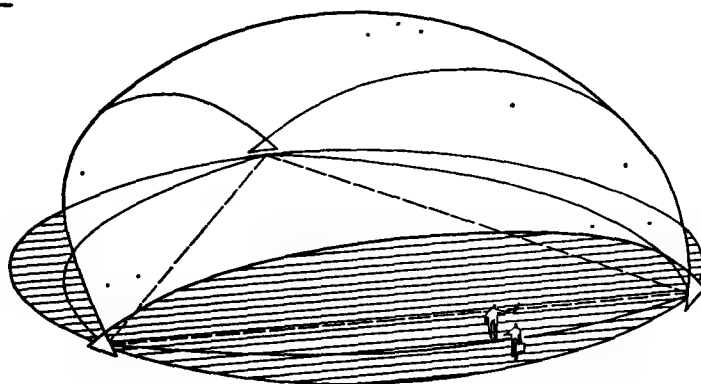
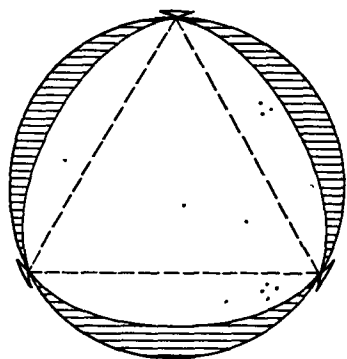
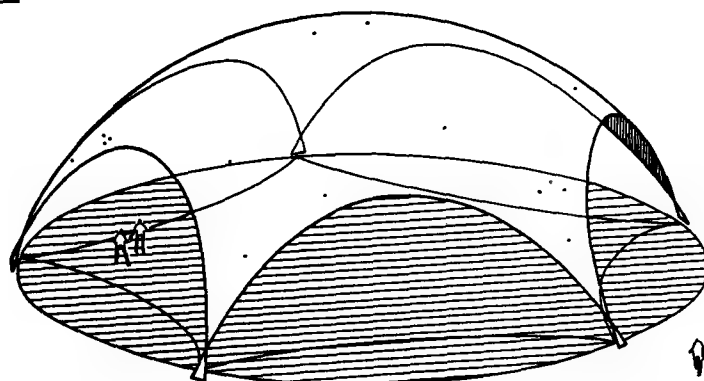
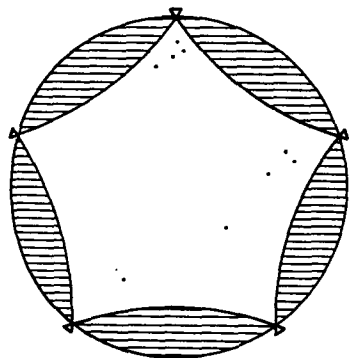
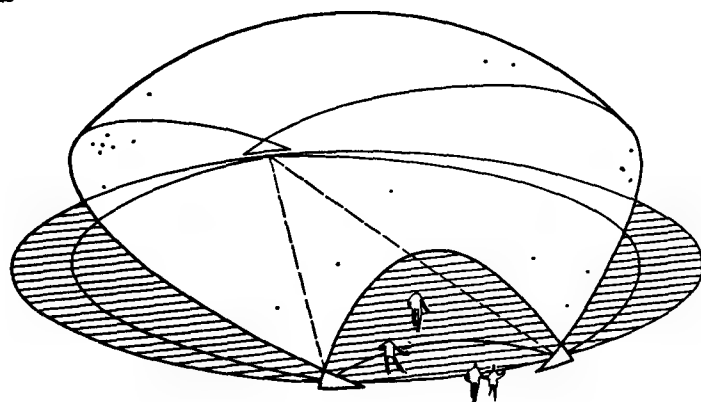
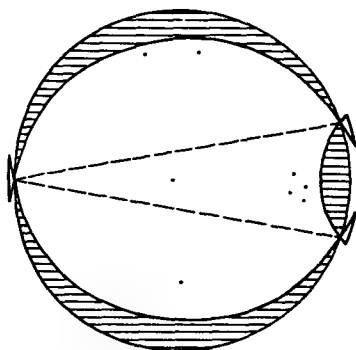


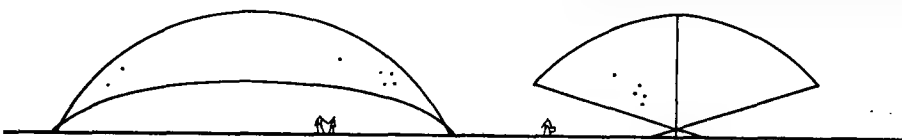
наклон опор по касательным

Кольцевая деформация опоры имеет центростремительную тенденцию, как и кольцевая деформация нижнего контура оболочки.

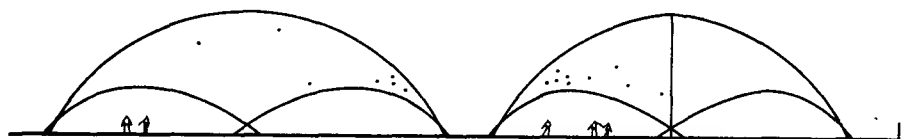
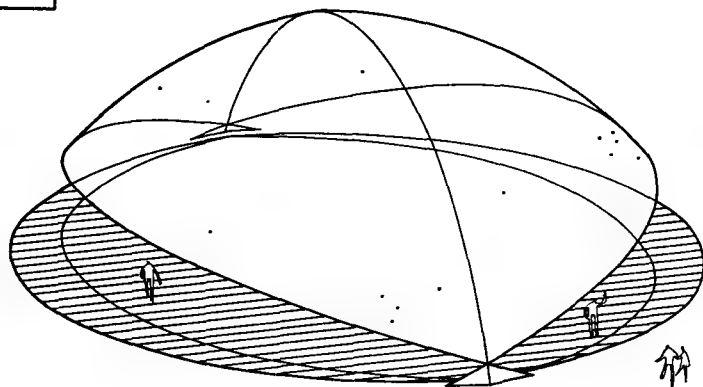
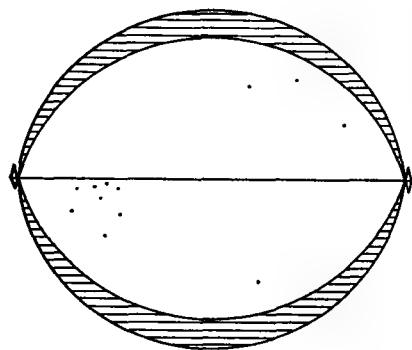


## СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

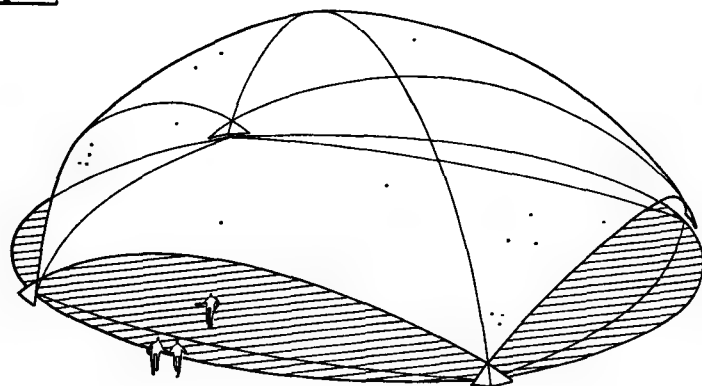
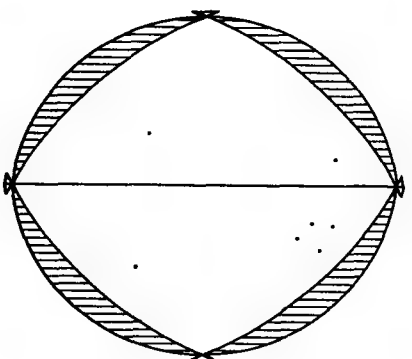
три крайвые арки, наклоненные  
наружупять крайвых орок, наклоненных  
внутрисегменты наклонного кольцевого  
пояса, присоединенные к крайвым  
аркам

СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ ДВУХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ,  
СОЕДИНЕННЫХ ПО ДУГЕ-РЕБРУ

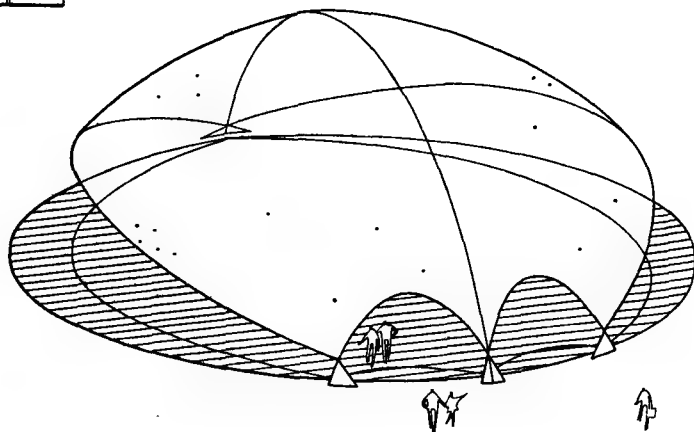
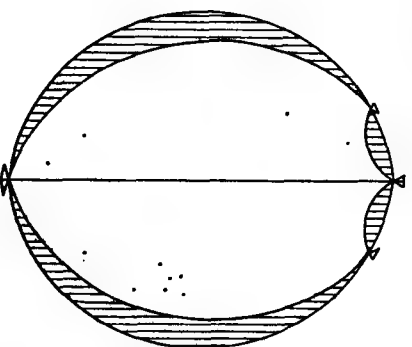
два сегмента наклонного  
кольцевого пояса, сомкнув-  
шихся по дуге-ребру



четыре крайевые арки,  
наклоненные наружу

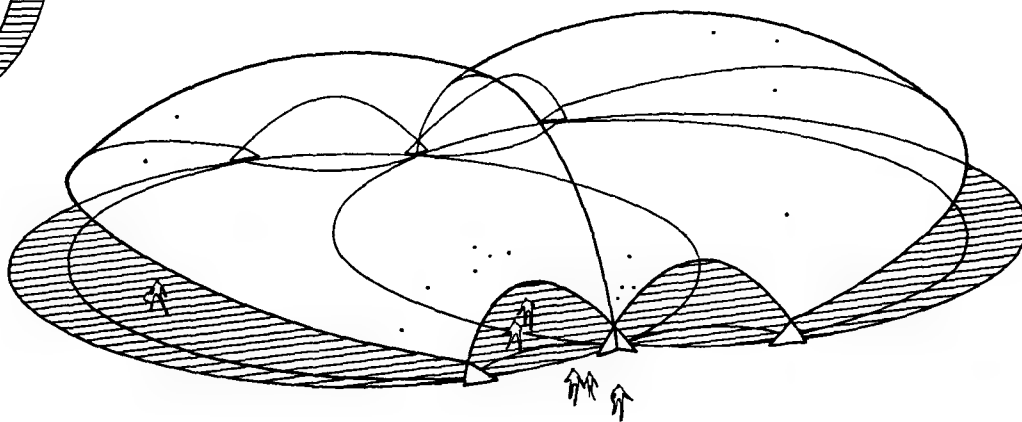
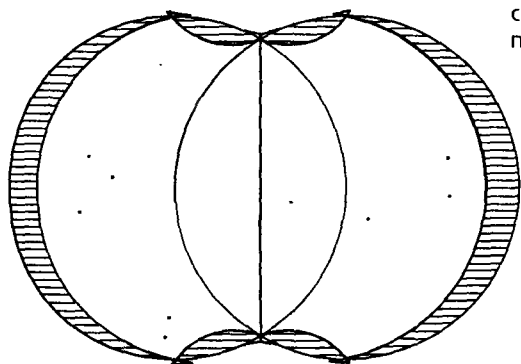


сегменты наклонного коль-  
цевого пояса, присоеди-  
ненные к крайевым аркам

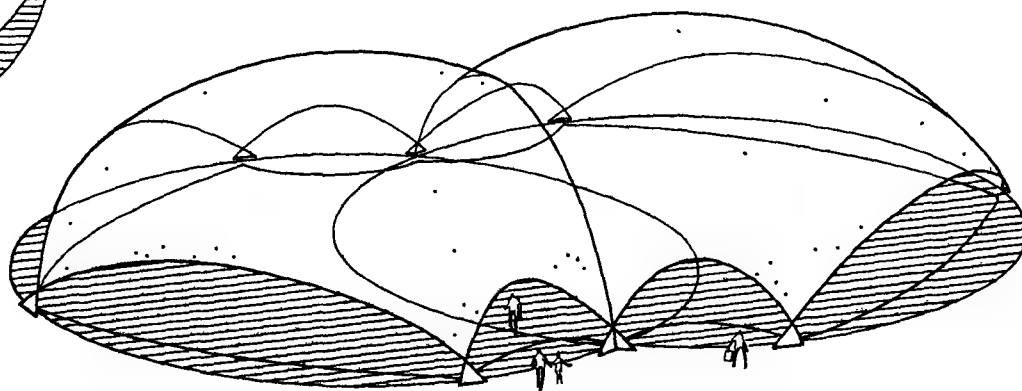
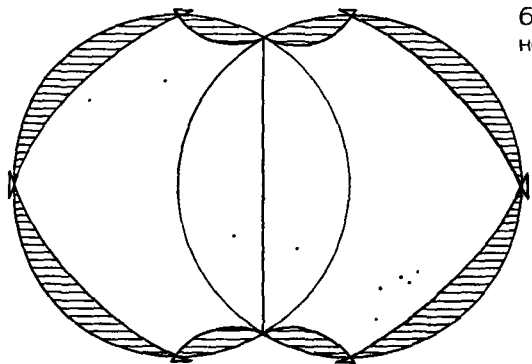


СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ ДВУХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ,  
ОБРАЗУЮЩИХ ДУГУ-РАЗЖЕЛОБОК

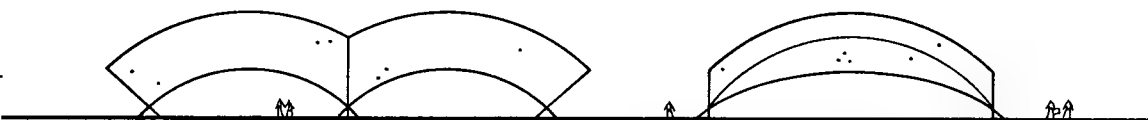
сегменты наклонного кольцевого пояса,  
присоединенные к краевым аркам



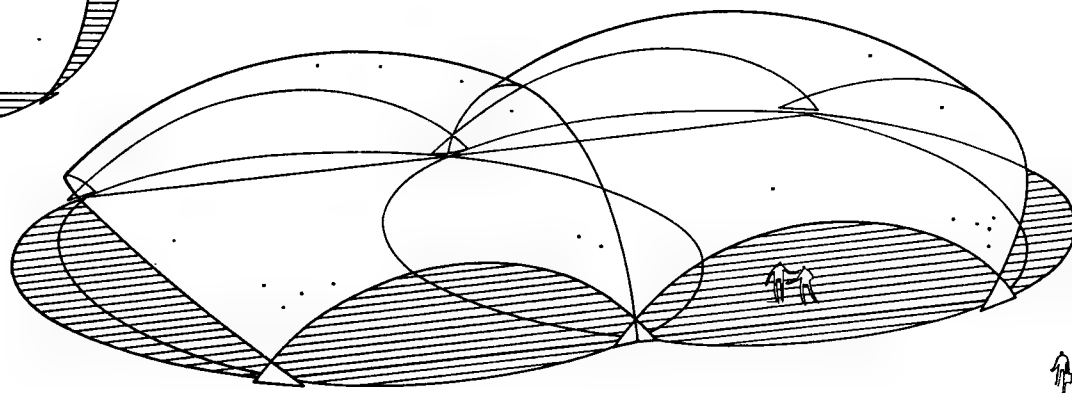
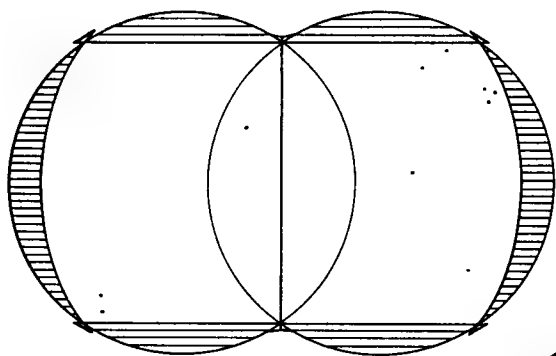
большие краевые арки, наклоненные  
наружу, соединенные с малыми арками



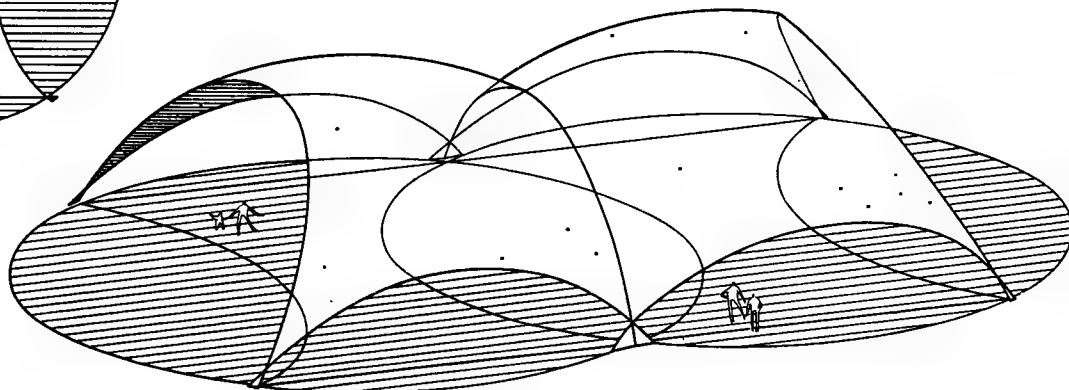
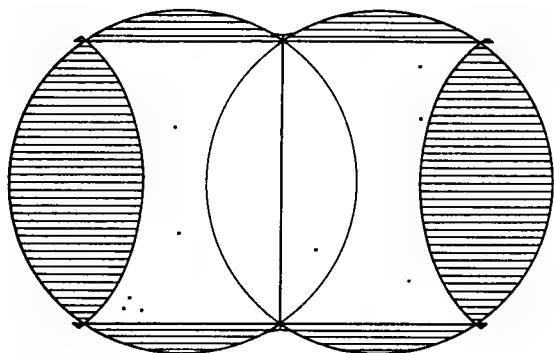
СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ ДВУХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ,  
ОБРАЗУЮЩИХ ДУГУ-РАЗЖЕЛОБОК



вертикальные боковые арки с наклоненными наружу торцевыми арками

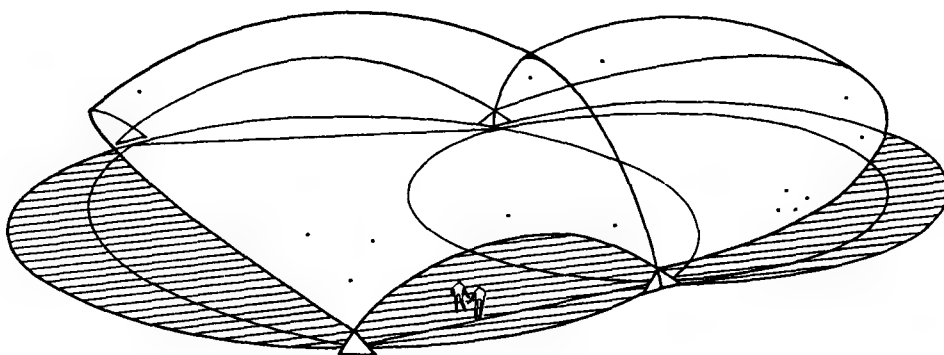
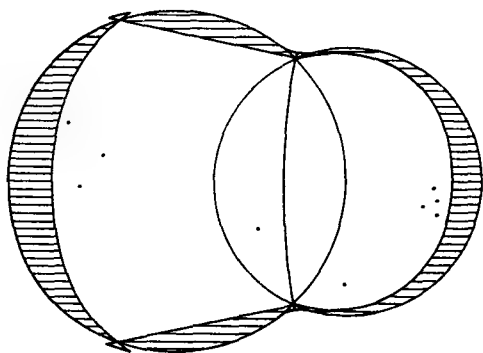


вертикальные боковые арки с наклоненными внутрь торцевыми арками

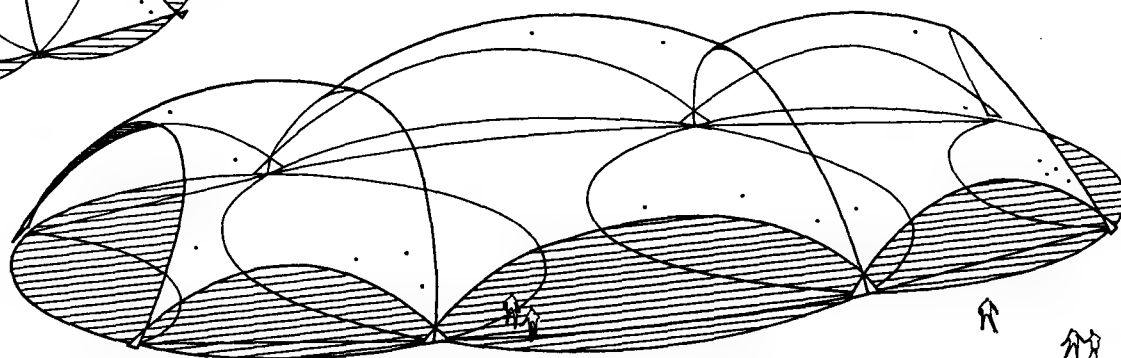
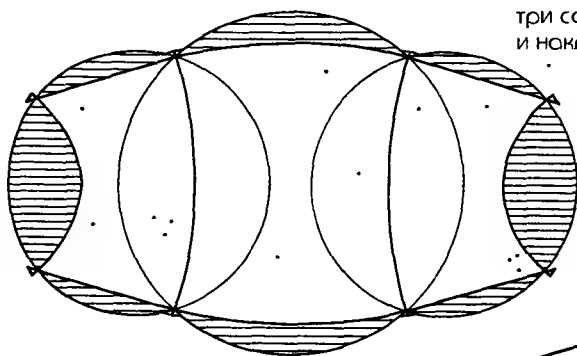


СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
НЕОДИНАКОВОЙ КРИВИЗНЫ

две сферические поверхности с вертикальными боковыми арками и сегментами наклонного кольцевого пояса

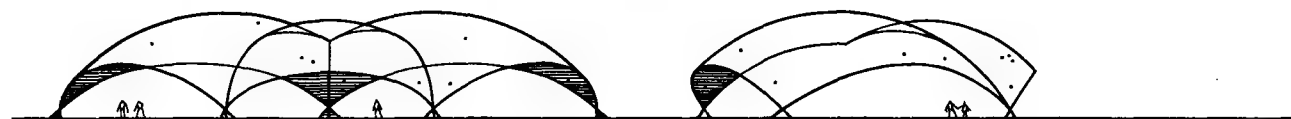
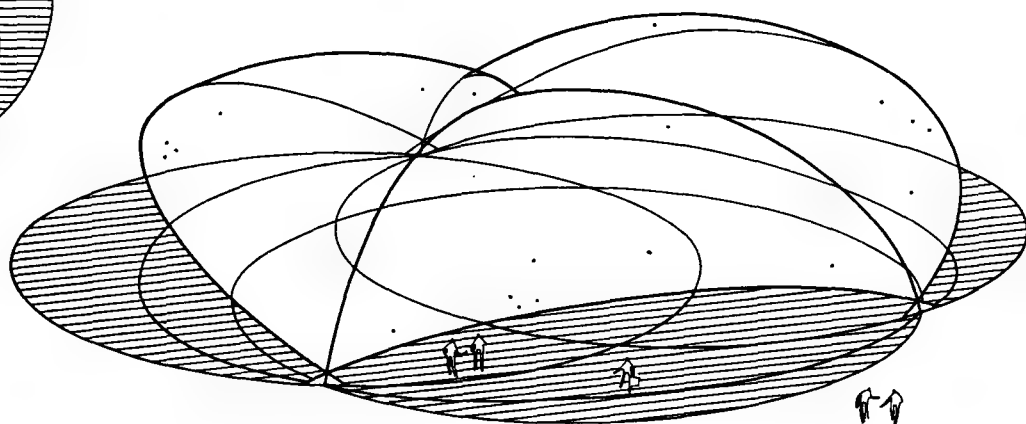
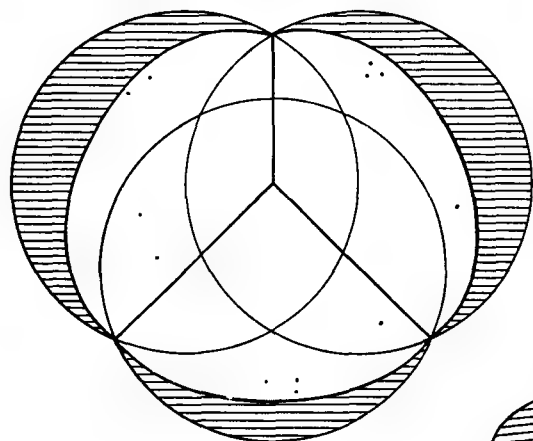


три сферические поверхности с вертикальными и наклонными арками по краям

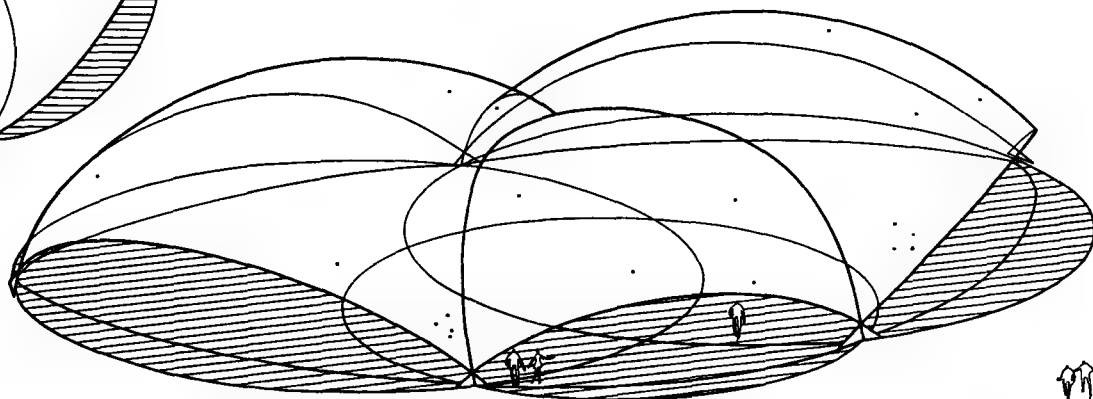
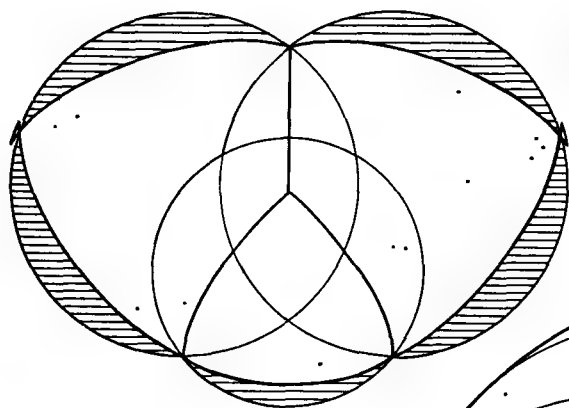


СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ,  
ОБРАЗУЮЩИХ ДУГИ-РАЗЖЕЛОБКИ

одинаковая кривизна сферических  
поверхностей и сегменты наклонного  
кольцевого пояса

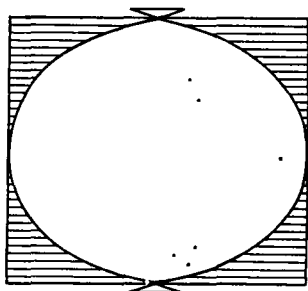
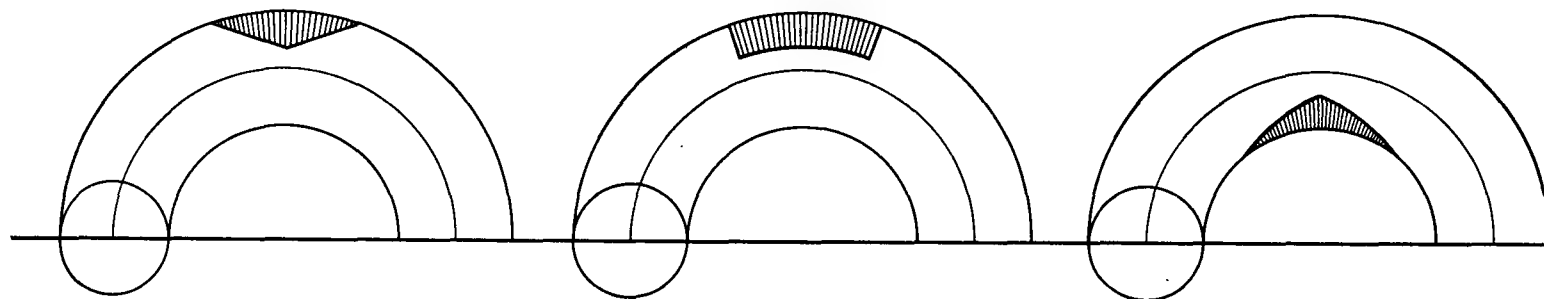
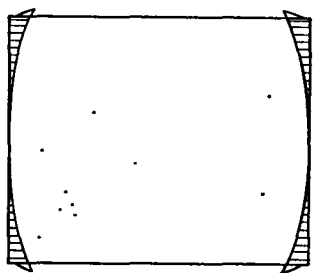
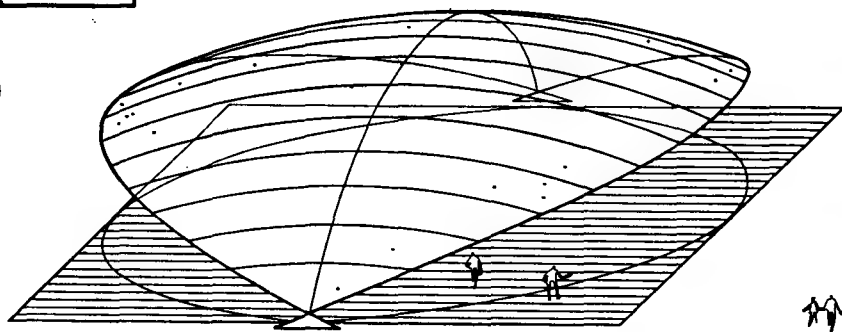
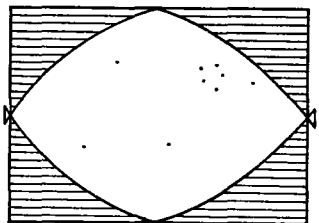
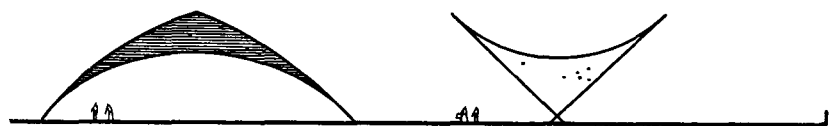
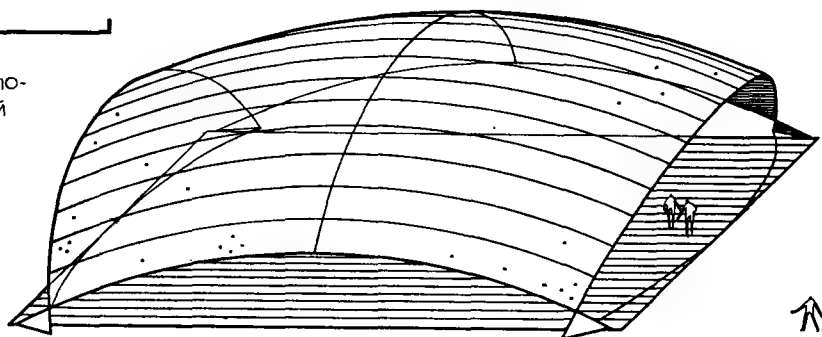
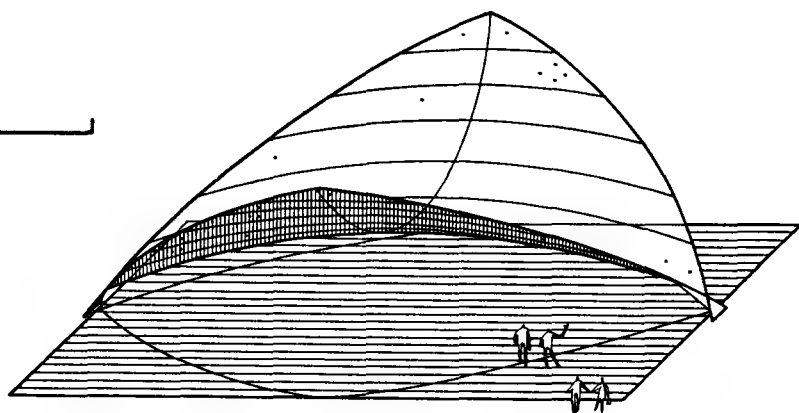


различная кривизна сферических  
поверхностей и наклоненные наружу  
арки по краям





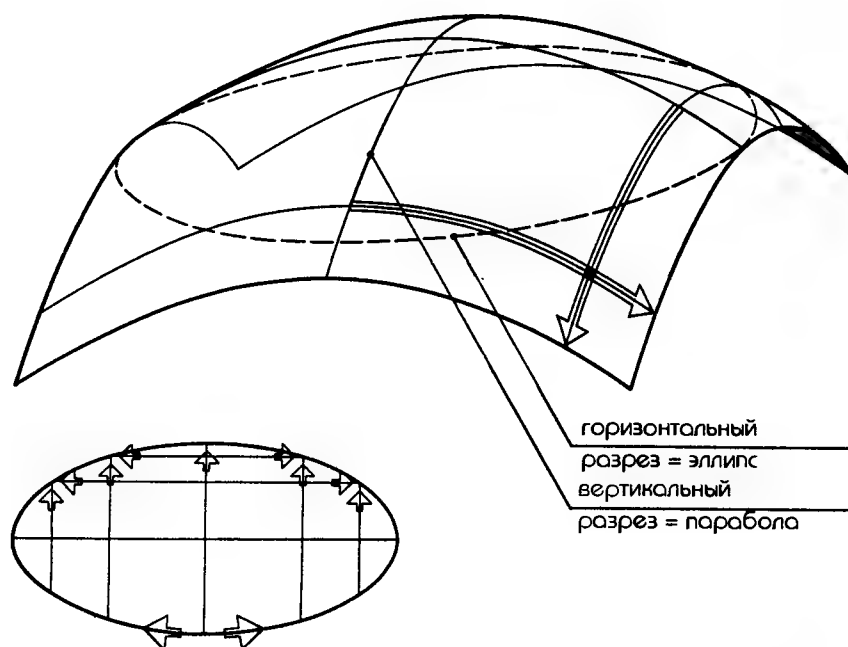
## СЕКТОРА ТОРА ДЛЯ ПЛАНА ОСОБОЙ ГЕОМЕТРИИ

овальный сектор с положи-  
тельной двоякой кривизнойчетырёхугольный сектор с положи-  
тельной двоякой кривизнойромбический сектор с отрица-  
тельной двоякой кривизной

## ГЕОМЕТРИЯ И НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЮЩИХ СВОДОВ-ОБОЛОЧЕК

Формирование поверхности = передающая поверхность возникает, если плоская кривая (образующая) проводится параллельно себе самой вдоль другой плоской кривой (направляю-

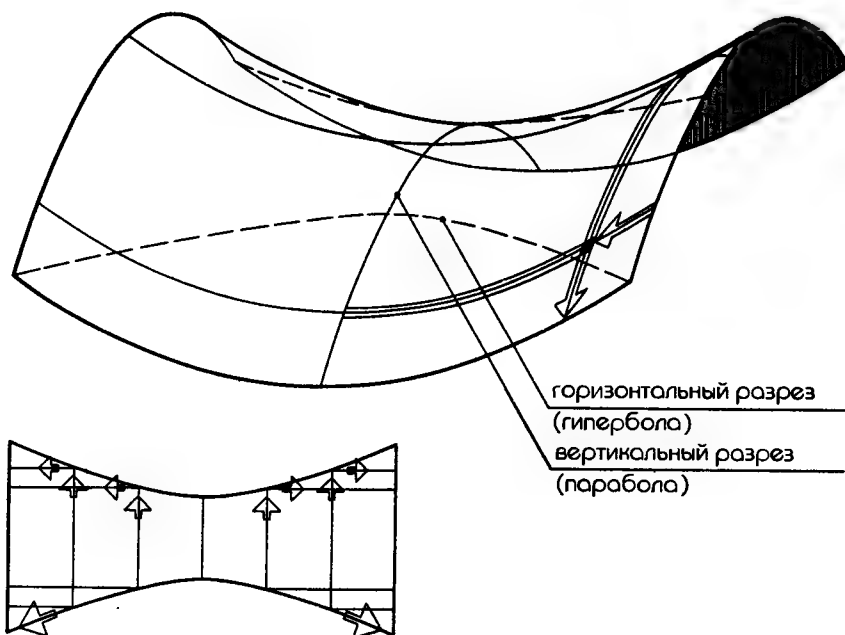
щая), плоскость которой перпендикулярна плоскости образующей кривой.



эллиптический параболоид

синклатическая (с одинаково направленной кривизной) поверхность

Нагрузки отводятся на края через арочный механизм по двум осям. Края должны, таким образом, воспринимать сдвиг арки и, соответственно, повышать жесткость оболочки. В случае горизонтального нижнего замыкания край должен воспринимать сумму арочных усилий по двум осям. Если его форма (эллипс) очень близка к цепной линии горизонтальных сил, получающихся из собственного веса, краевая балка остается достаточно свободной от изгиба.

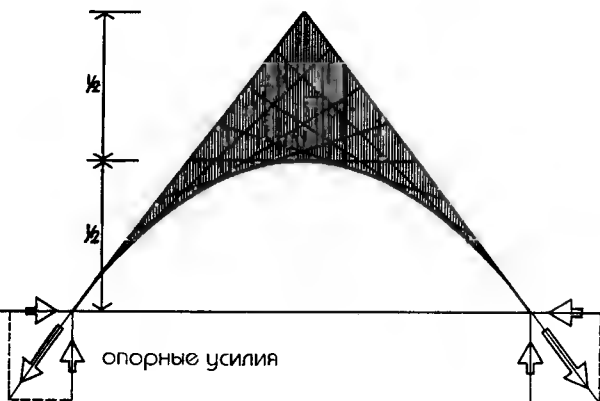


гиперболический параболоид = гипар

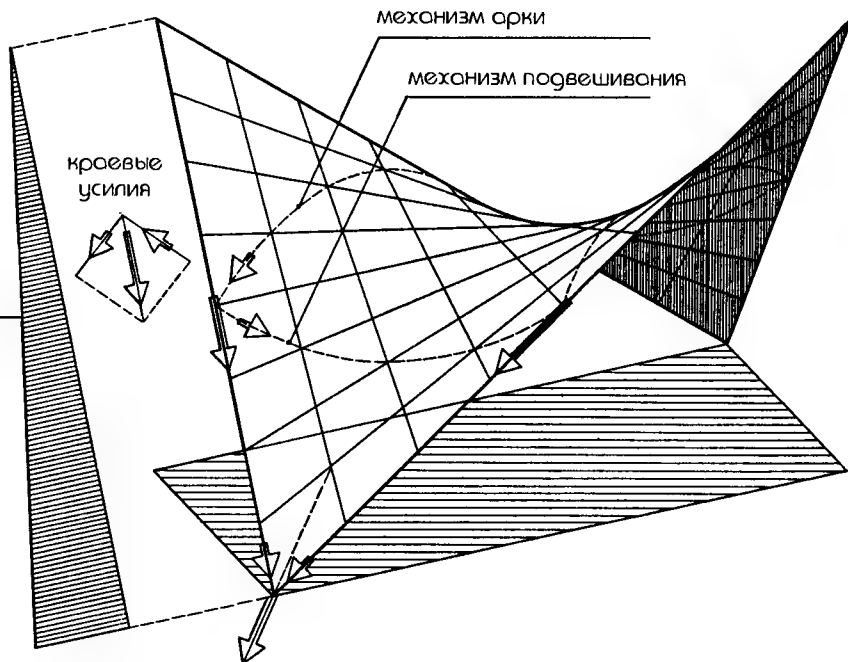
антиклатическая (изогнута в разных направлениях / седловидно) поверхность

Нагрузки передаются на края через арочный механизм по одной оси и через висачий механизм — по другой. Края, таким образом, должны воспринимать сдвиг арки по одной оси и растяжение — по другой. Из-за своей дугообразной формы (гиперболы) краевая балка может отвести в угловые зоны оболочки эти горизонтальные усилия без увеличения изгиба.

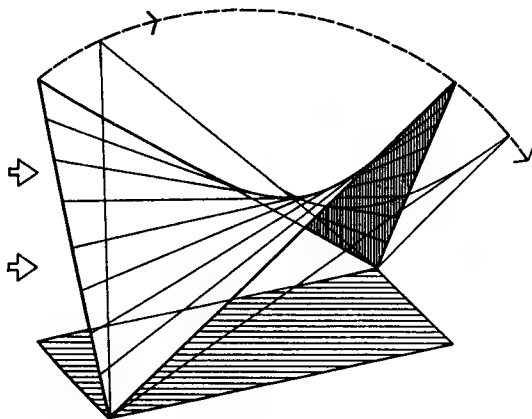
# НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ ПРЯМОЛИНЕЙНО ОГРАНИЧЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ (ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЙ ПАРАБОЛОИД)



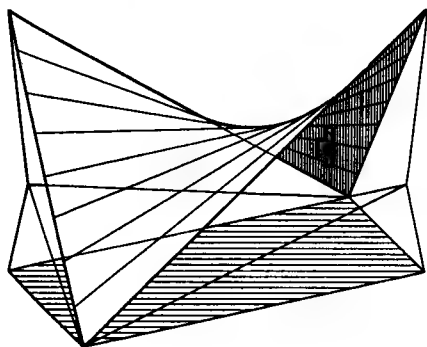
Из-за наклонного положения линии суммарных усилий в оболочке опоры должны воспринимать и горизонтальный сдвиг.



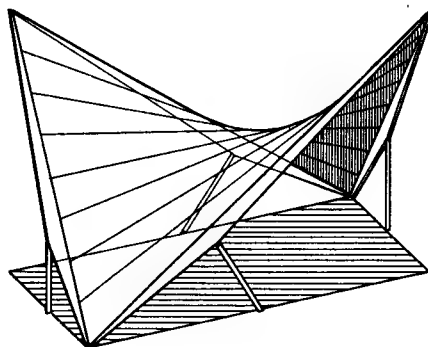
Оболочка в виде гипара функционирует по одной оси как арочный механизм, по другой – как подвесной. В то время как оболочка (силами сжатия) деформируется по одной оси, по другой оси этому мешают силы растяжения. Результирующая поверхностных усилий действует в направлении контура, который поэтому не подвергается изгибу.



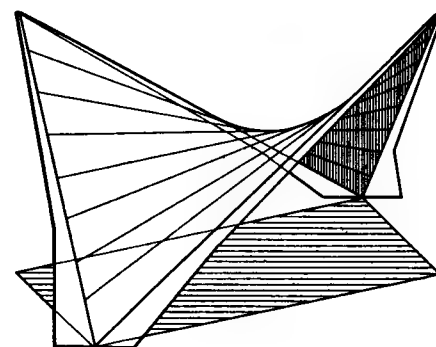
## СТАБИЛИЗАЦИЯ ОБОЛОЧКИ ОТ ОПРОКИДЫВАНИЯ (ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ)



натяжения вершин с помощью вант

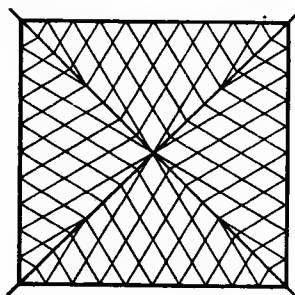
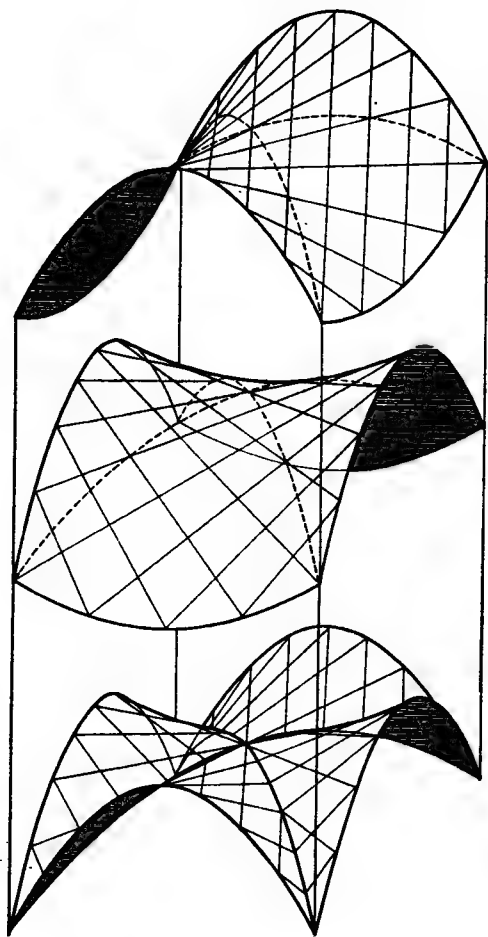


крепление краевых элементов подпорками

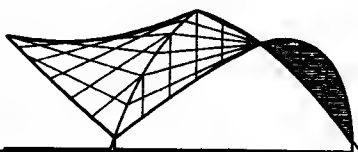
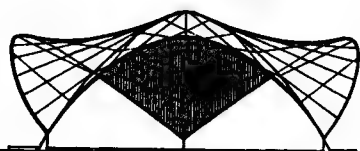
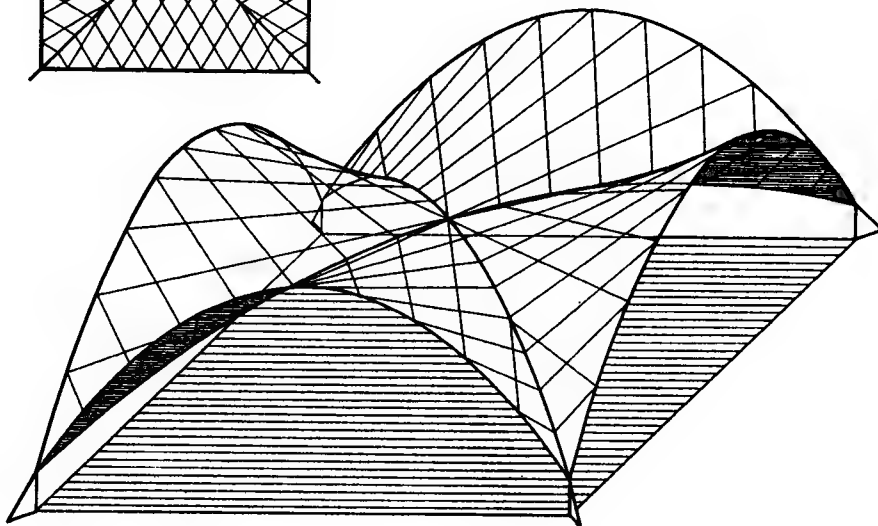


закрепление опорных точек в фундаменте

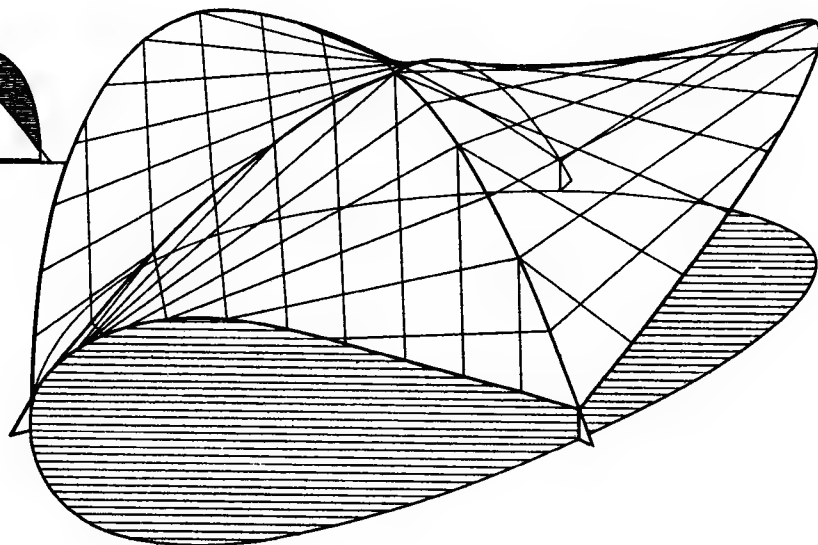
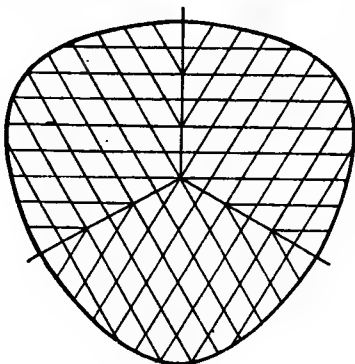
НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИ-ПАРАБОЛОИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С АРОЧНЫМИ КОНТУРАМИ



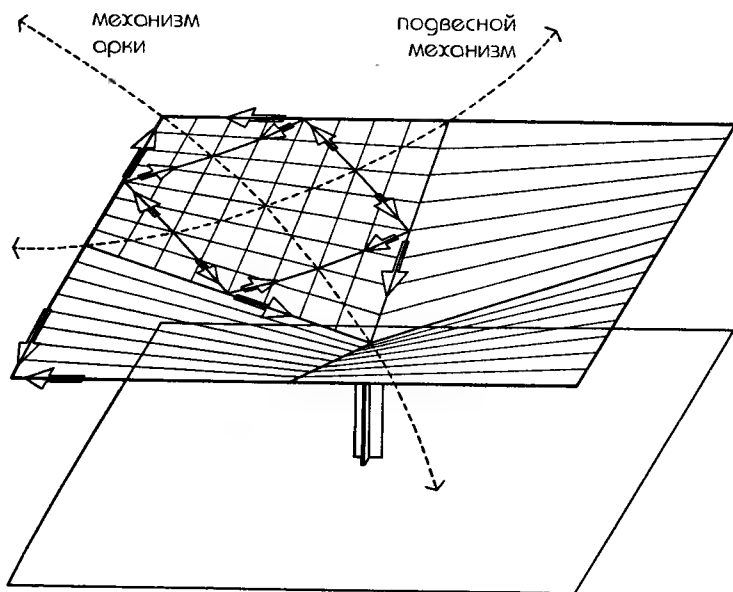
4 гипара с вертикально  
расположенными краевыми  
арками



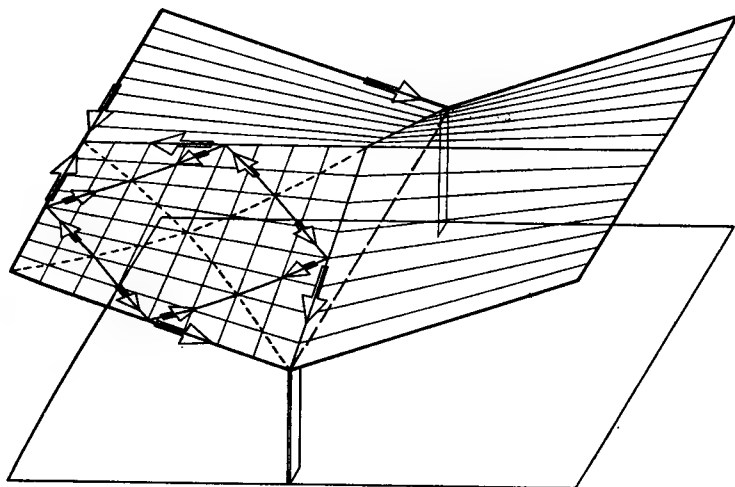
3 гипара с наклонно  
расположенными краевыми  
арками



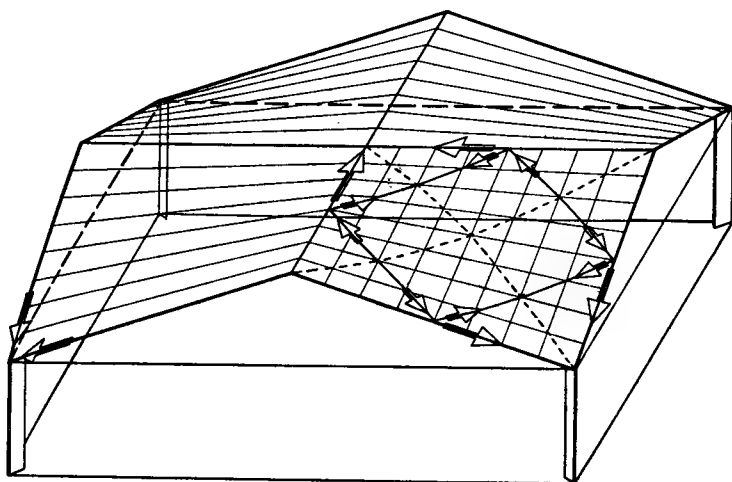
## НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ СИСТЕМ, СОСТОЯЩИЙ ИЗ 4 ГИПАРОВ



Результант арочного и подвесного механизмов нагружает контур на растяжение, а складки у основания – на сжатие. На опорах горизонтальные компоненты конечного результата взаимно уничтожаются.

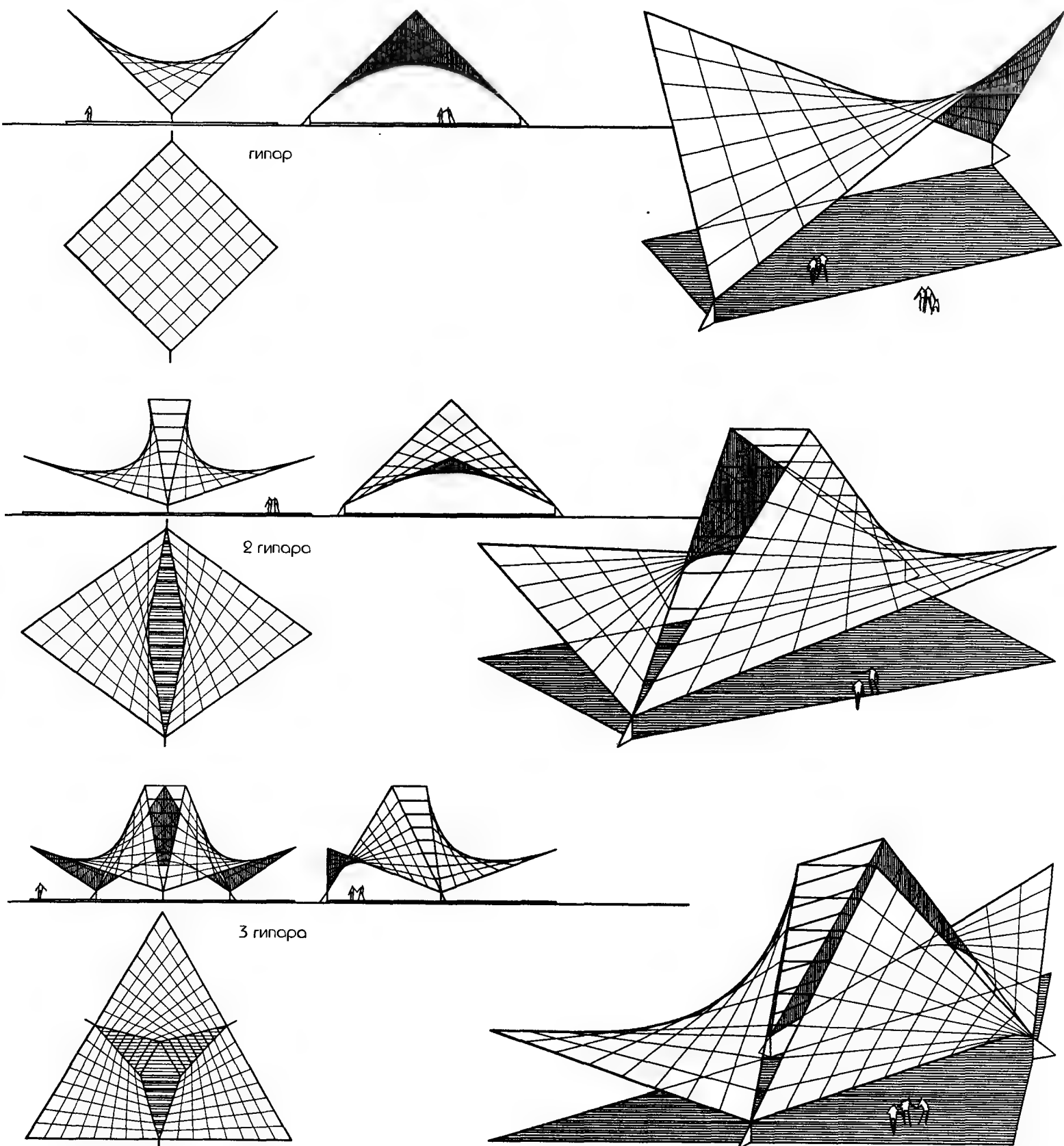


Результант арочного и подвесного механизмов нагружает контур и складки у основания на сжатие, а складки у вершин – на растяжение. На опорах стяжка воспринимает горизонтальные компоненты результата.

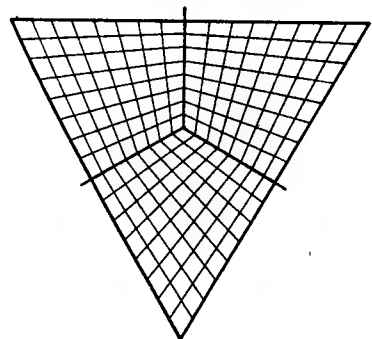
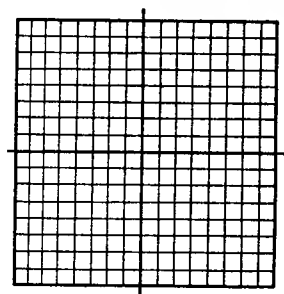
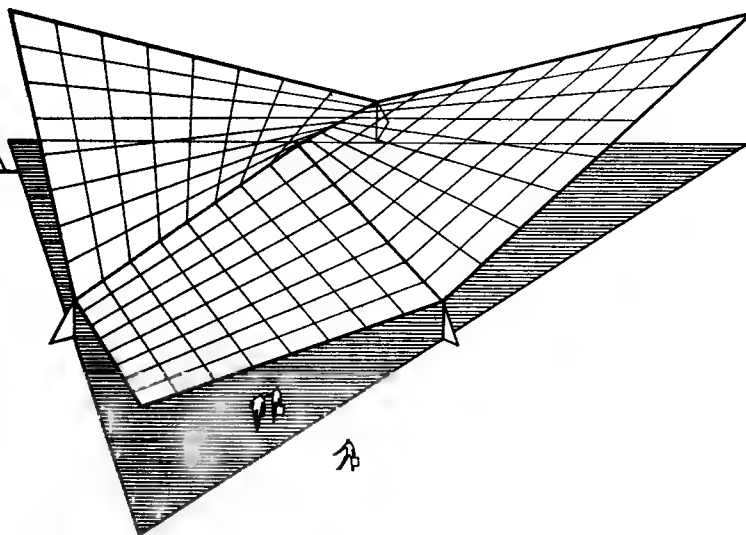
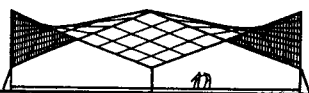
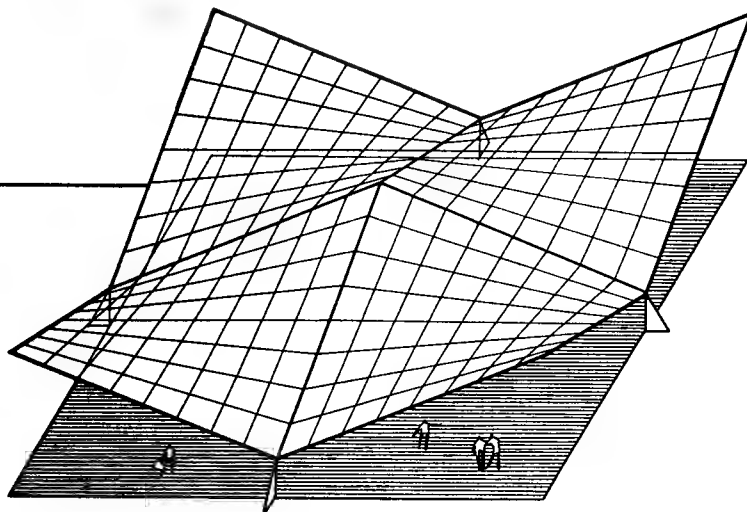
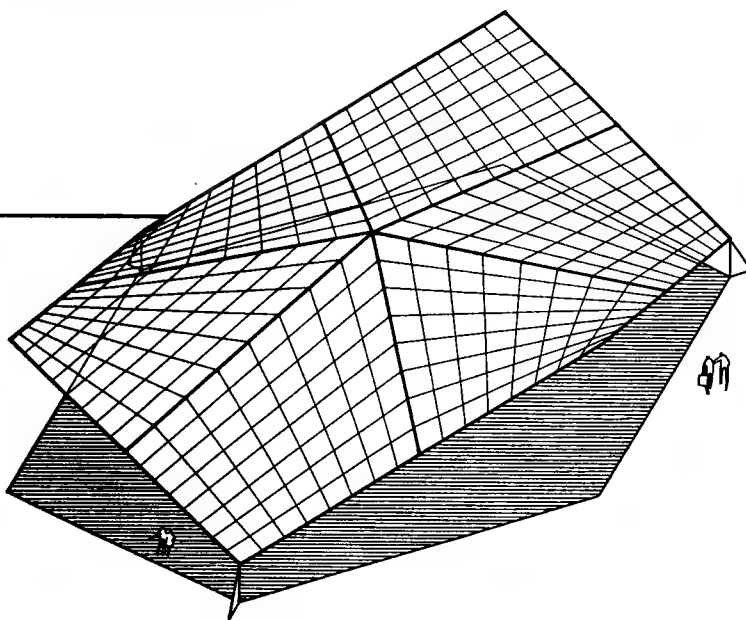
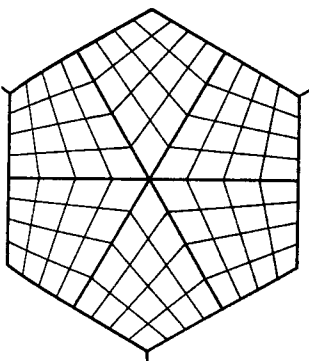


Результант арочного и подвесного механизмов нагружает как контур, так и складки у вершины на сжатие. На опорах стяжки воспринимают горизонтальные компоненты результата.

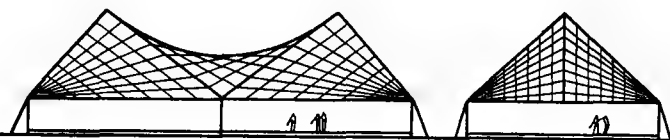
## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ПРЯМОЛИНЕЙНО ОГРАНИЧЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ – ГИПАРОВ



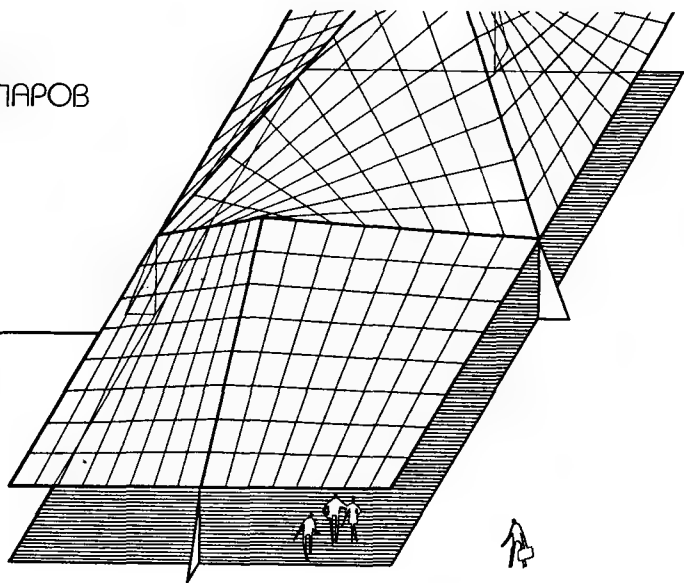
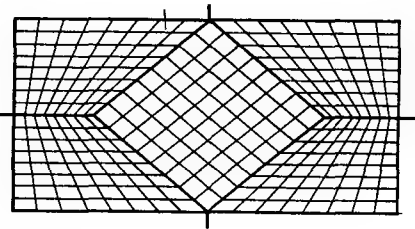
## КОМПОЗИЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ИЗ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГИПАРОВ

3 гипара над треугольным  
планом4 гипара над квадратным  
планом6 гипаров над шестиугольным  
планом

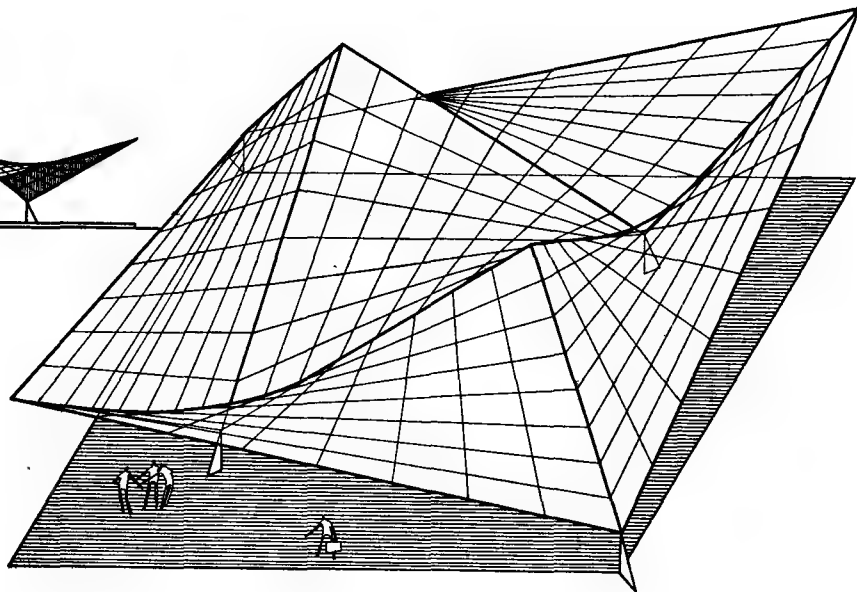
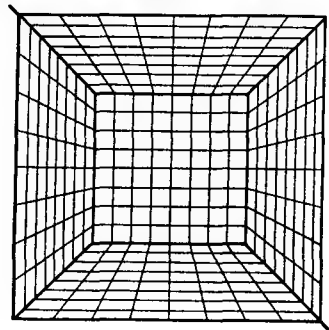
СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ  
ПРЯМОЛИНЕЙНО ОГРАНИЧЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ – ГИПАРОВ



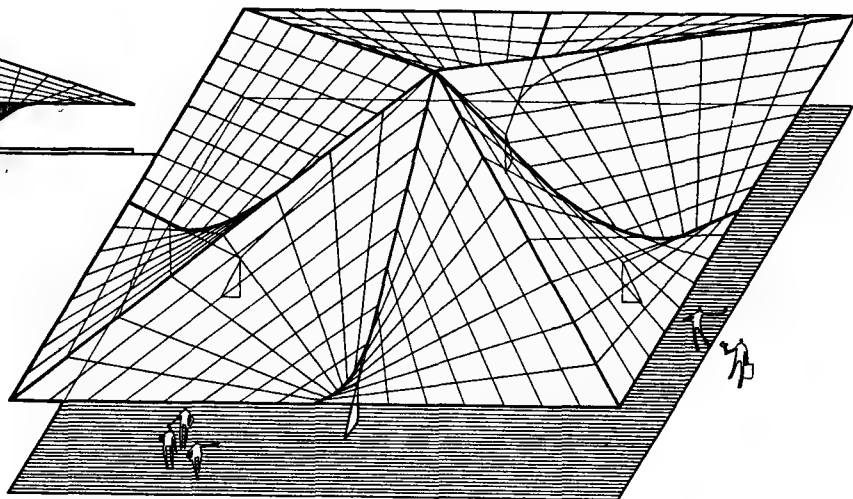
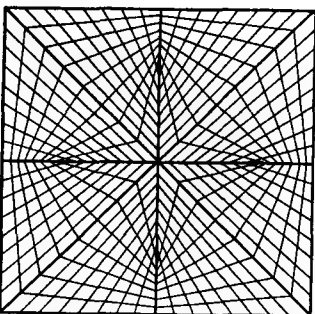
5 гипаров



5 гипаров

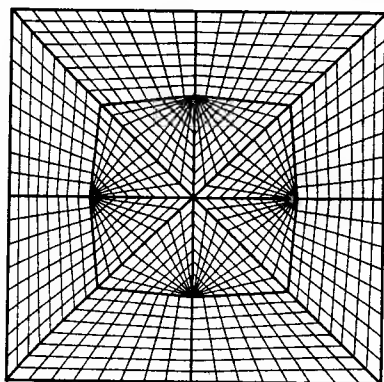
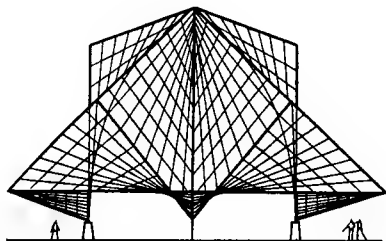


8 гипаров

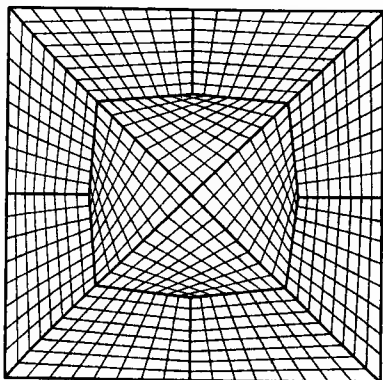
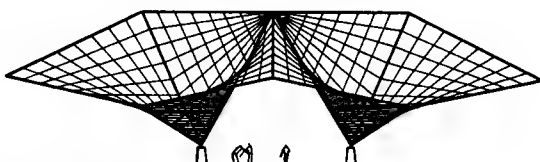
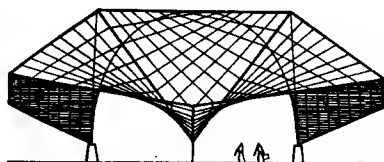
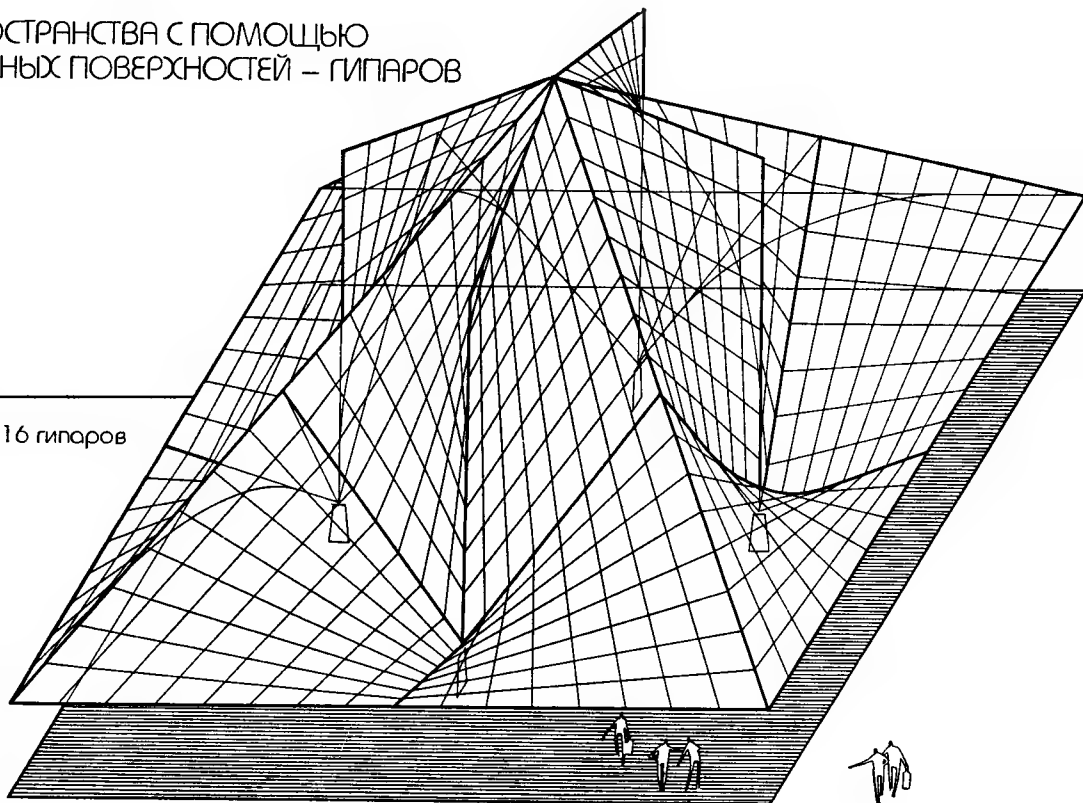




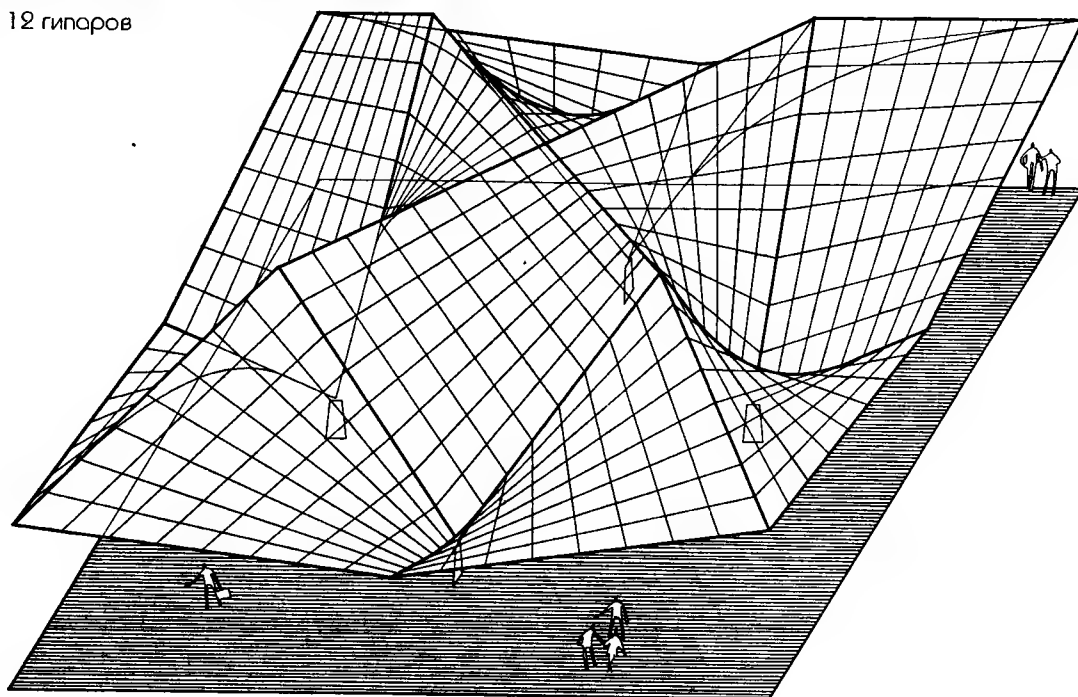
СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ  
ПРЯМОЛИНЕЙНО ОГРАНИЧЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ – ГИПАРОВ



16 гипаров



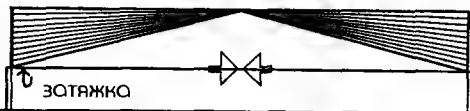
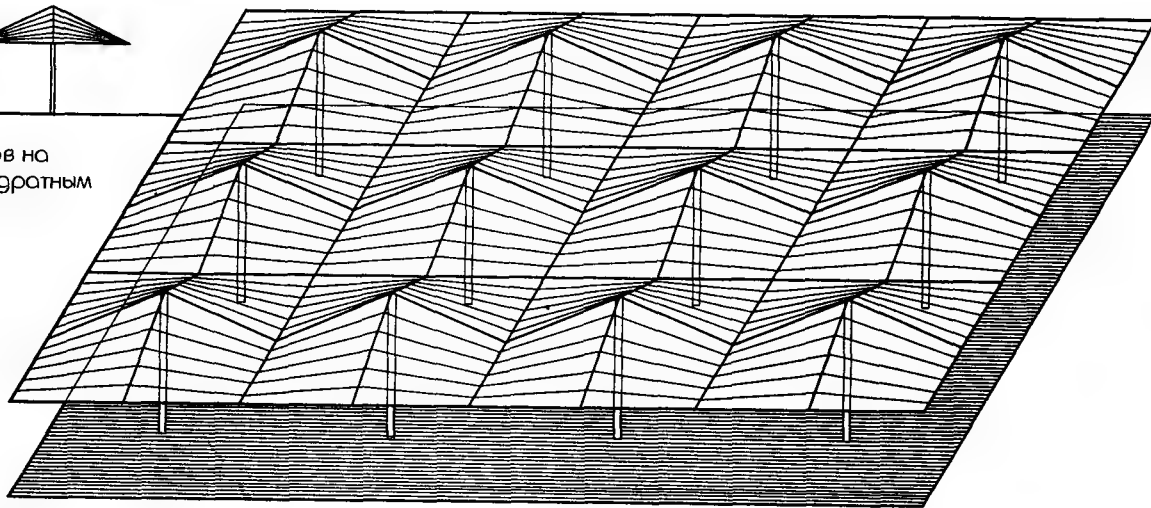
12 гипаров



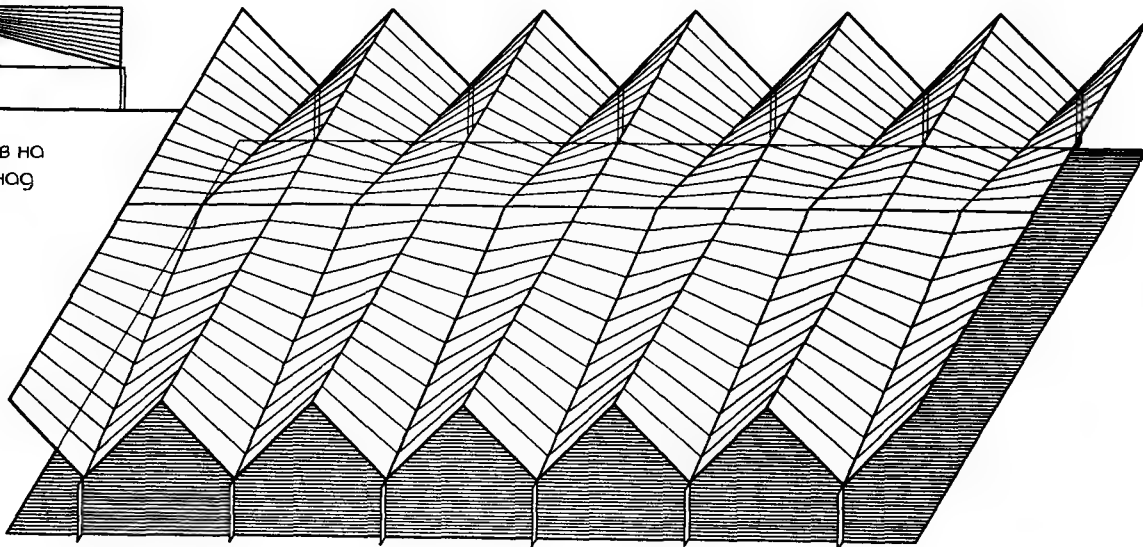
## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ – ГИПАРОВ ДЛЯ ПЕРЕКРЫТИЯ БОЛЬШИХ ПРОСТРАНСТВ



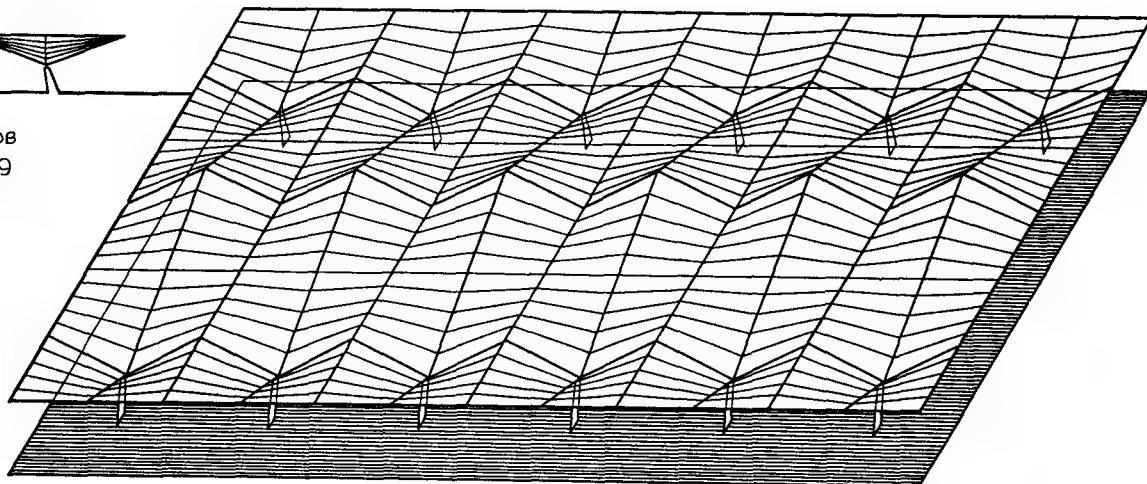
блок, состоящий из 4 гипаров на центральной опоре над квадратным растром



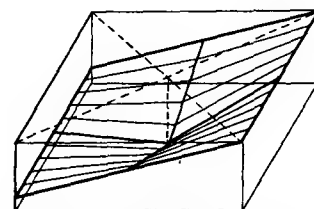
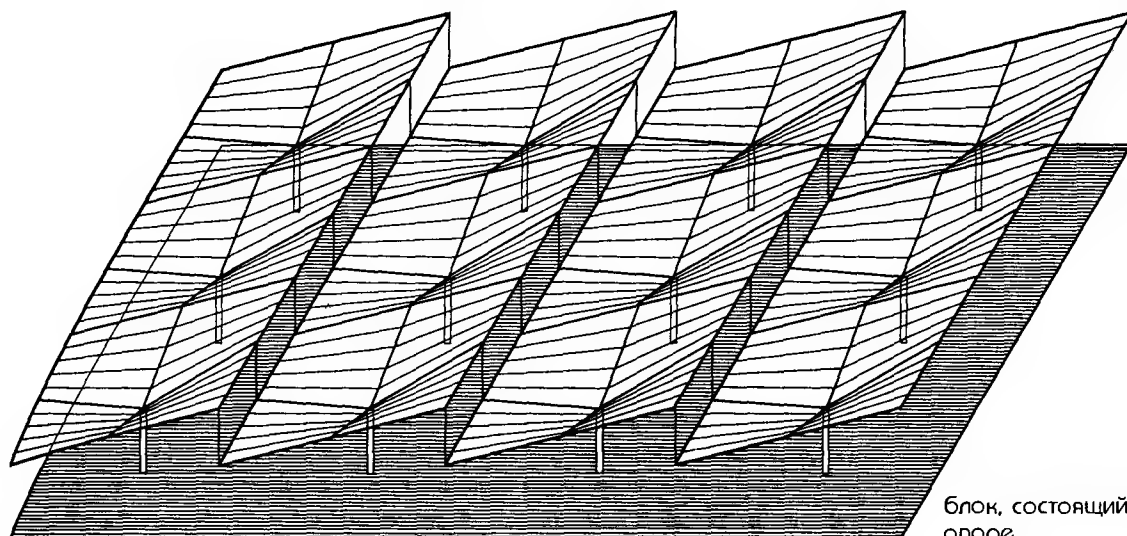
блок, состоящий из 4 гипаров на крайних опорах с затяжкой над прямоугольным растром



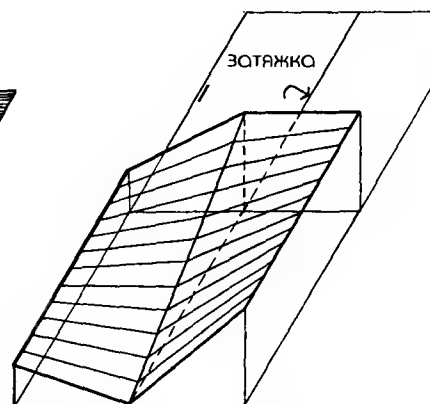
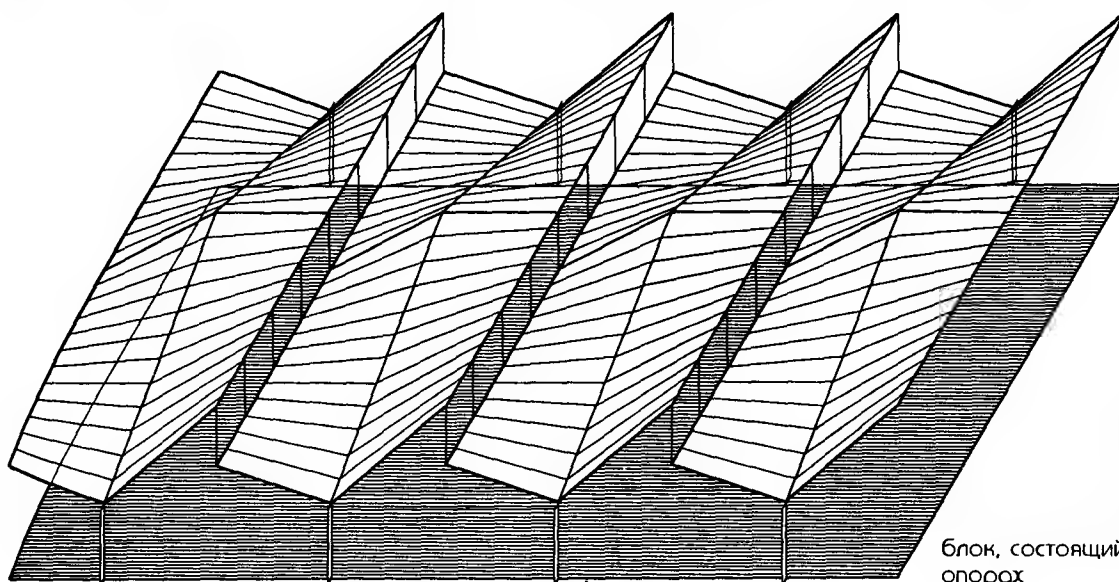
блок, состоящий из 8 гипаров на крайних контрфорсах над прямоугольным растром



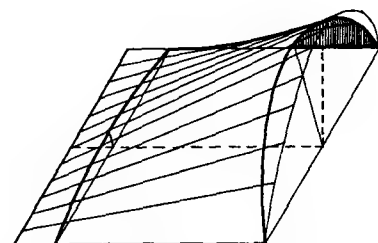
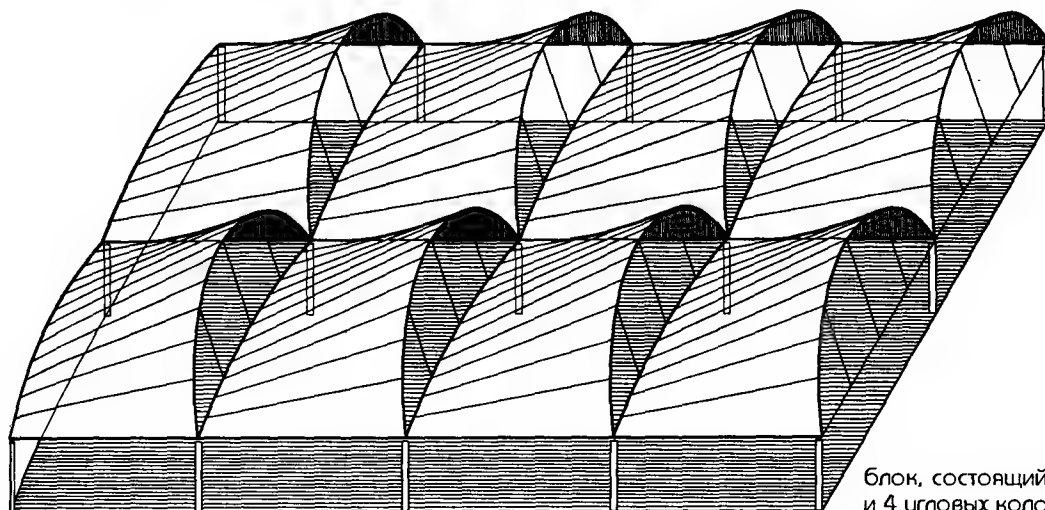
## НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КРЫШ БОЛЬШИХ ПОМЕЩЕНИЙ С ЛЕНТОЧНЫМИ ОКНАМИ



блок, состоящий из 4 гипаров на центральной опоре



блок, состоящий из 4 гипаров на 2 крайних опорах



блок, состоящий из коноидальной поверхности и 4 угловых колонн

# **АКТИВНЫЕ ПО ВЫСОТЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

**5**

Прочные и жесткие элементы, преимущественно расположенные вертикально, способные воспринимать боковые нагрузки и прочно закрепленные в грунте, могут фокусировать нагрузки с полезной площади, расположенной на большой высоте над землей, и передавать усилия на фундамент: несущие системы, активные по высоте, конкретнее – высотные конструкции.

Несущие системы, главная задача которых состоит в том, чтобы собирать нагрузки с расположенных друг над другом плоскостей и отводить их вертикально на основание, называются активными по высоте несущими системами, или высотными конструкциями.

Высотные конструкции характеризуются особой системой концентрации нагрузок, их передачи и приданием боковой жесткости.

Высотные конструкции для перераспределения сил и передачи нагрузок пользуются механизмами систем, активных по форме, вектору, сечению или поверхности. Сами они не обладают присущим только им механизмом действия.

Высотные конструкции не являются результатом установленных друг над другом одноэтажных систем; они могут быть полностью объяснены с точки зрения их статического поведения как вертикально установленная большая консоль. Это однородные системы со своими собственными проблемами и своими собственными решениями.

Из-за их вертикальной направленности и вследствие этого многократно увеличенной восприимчивости к горизонтальным нагрузкам придание боковой жесткости является существенной составной частью проекта вертикальной несущей системы. С момента определения высоты над землей переориентация горизонтальных сил может стать формоопределяющим признаком проекта.

Несущие системы, активные по высоте, являются инструментом и основой строительства высотных домов. В этом качестве они определяют формообразование современных архитектурных комплексов и целых городов.

Высотные конструкции являются предпосылкой и средством для использования третьего измерения – высоты – в градостроительстве. Использование высотных конструкций в будущем не будет ограничиваться отдельными сооружениями, а будет расширяться, чтобы увеличить урбанистическое высотное пространство.

Высотные конструкции требуют неразрывности элементов, которые передают нагрузку на основание, и тем самым согласованности передачи нагрузок для каждого этажа. Поэтому распределение точек передачи нагрузок должно определяться соображениями не только статической целесообразности, но и рационального использования площадей.

Высотные конструкции могут отличаться различной системой поэтаж-

ной передачи нагрузок. В растровой системе точки передачи нагрузок распределяются равномерно над всем планом; в системе из оболочек они располагаются на периферии; в стержневой системе зона концентрации нагрузок лежит в центре; в мостовых системах точки концентрации нагрузок воспринимаются конструкцией, расположенной выше.

В высотных домах системы передачи нагрузок тесно связаны с формой и структурой плана. Эта взаимосвязь носит такой характер, что системы передачи нагрузок обуславливают со своей стороны системы планов высотных домов.

Чтобы создать нужные предпосылки для гибкой планировки этажей и возможностей для последующей перепланировки помещений на каждом этаже, проект несущих систем, активных по высоте, нацелен на максимально возможное уменьшение поперечного сечения элементов, передающих нагрузку, а также их числа.

Из-за необходимой неразрывности вертикальной передачи нагрузок высотные конструкции характеризуются вытянутыми по вертикали элементами, которые, со своей стороны, привели к высотным неделимым фасадам. Деление по высоте является одной из неразрешимых формообразующих проблем высотных конструкций.

Несущие системы, активные по высоте, несмотря на логичную вер-

тикальность несущих элементов, могут экономично планироваться и из невертикальных элементов. Это означает, что монотонность прямолинейно-вертикального контура фронтальной проекции не является обязательным свойством несущих систем, активных по высоте.

Исследование возможностей разграничения и деления геометрии фронтальной проекции вертикальных несущих систем является первоочередной задачей современности.

Высотные конструкции для передачи вертикальных нагрузок нуждаются в значительных площадях поперечных сечений опор, которые ограничивают полезную площадь этажа. Благодаря подвешиванию вместо опирания этажа можно достичь значительного уменьшения поперечного сечения элементов, передающих нагрузку; однако эта

косвенная передача нагрузки требует расположенной сверху несущей системы для окончательной передачи нагрузки на основание.

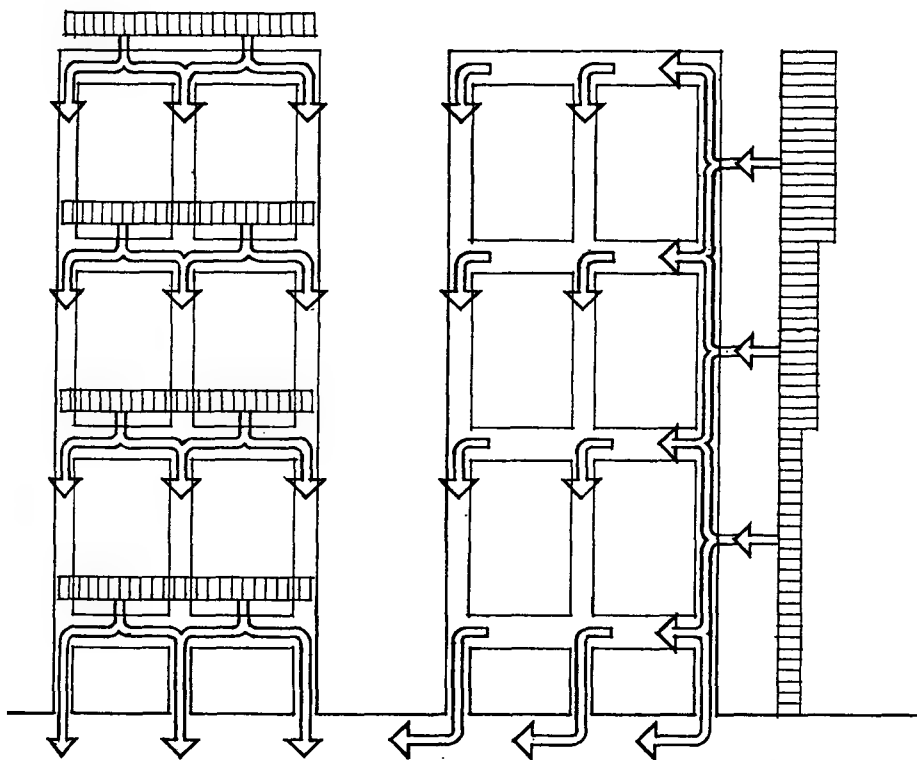
Высотные конструкции, в которых горизонтальные поверхности из-за уменьшения поперечного сечения элементов, передающих нагрузку, установлены на расположенных выше несущих системах и зависят от них, подобны конструкциям мостов, в которых окончательное фокусирование нагрузки и ее отведение происходят с помощью пилонов: мостовые высотные конструкции.

В связи с необходимостью ограничения до минимума поперечного сечения элементов, передающих нагрузку, для оптимального использования площадей, все пространственные элементы, необходимые для высотного строения, являются потенциальными несущими кон-

струкциями: лестничные клетки, шахты лифтов, санитарно-технические каналы.

Оптимальный проект несущих систем, активных по высоте, интегрирует все поперечные сечения перегородок вертикальной циркуляции, необходимых для организма высотного строения. Поэтому несущие системы, активные по высоте, неразрывно связаны с жизненной технико-динамической артерией высотных строений.

Проект несущих систем, активных по высоте, не только предполагает обширные знания механизмов всех несущих систем, но и требует из-за своей зависимости от структуры плана и интеграции элементов технического оборудования основополагающих знаний о внутренней взаимосвязи всех факторов, определяющих строительное сооружение.



### ФУНКЦИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ, АКТИВНЫХ ПО ВЫСОТЕ

Несущие системы, активные по высоте, являются структурами контроля высотных нагрузок, т. е. их восприятия, переориентирования на землю и передачи на землю («зоземление» нагрузки):

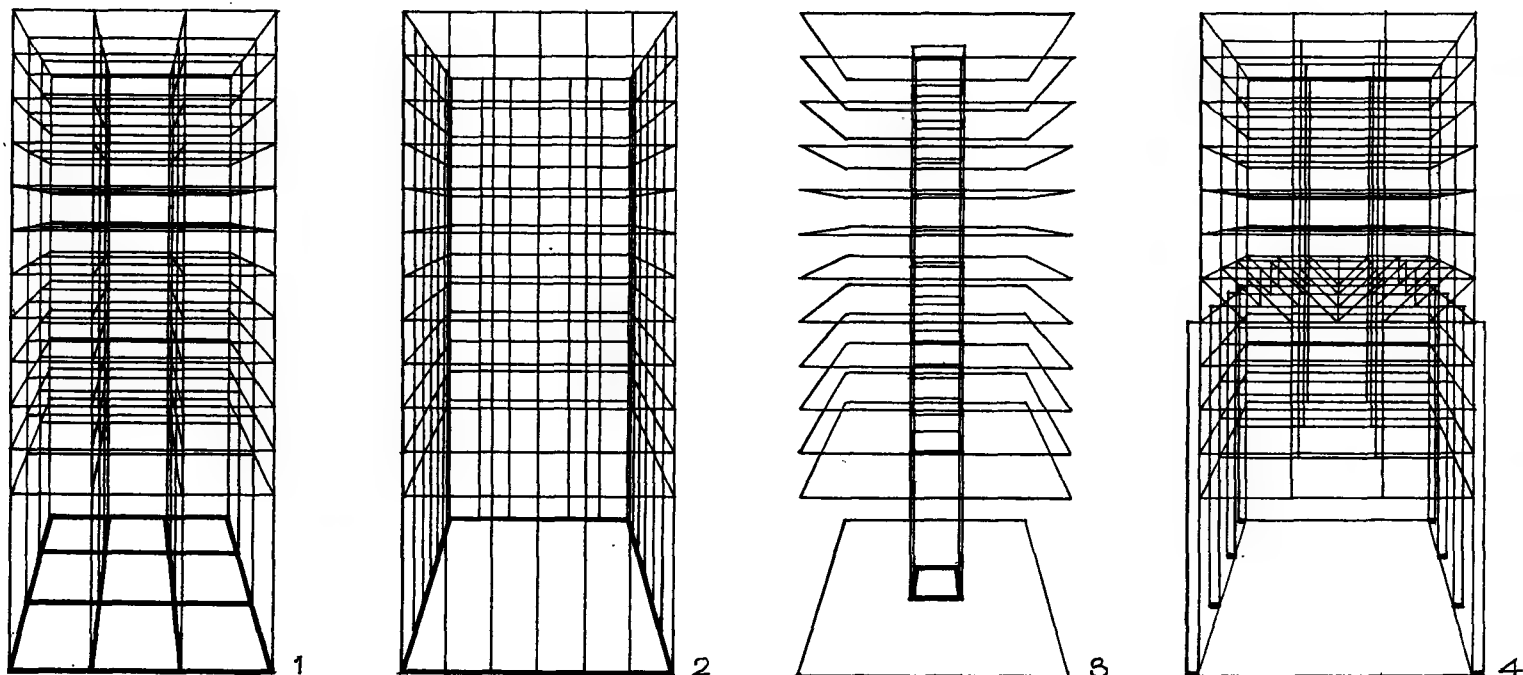
- 1 – вертикальные нагрузки, возникшие на высоте, т. е. над поверхностью земли = нагрузки от крыши и межэтажных перекрытий;
- 2 – горизонтальные нагрузки, вызванные высотой конструкции = ветровая и вибрационная нагрузки.

Горизонтальные нагрузки возникают в каждом строительном сооружении. Чем выше строительное сооружение, тем больше влияние структуры несущей конструкции на форму сооружения.

Собственная устойчивость высотного сооружения основана не на специфическом МЕХАНИЗМЕ перераспределения сил, как в других четырех «семьях» несущих конструкций, а на господствующей

ФУНКЦИИ высотного сооружения (как и раньше). Для исполнения этой функции высотные конструкции пользуются механизмами остальных четырех «семейств» несущих конструкций.

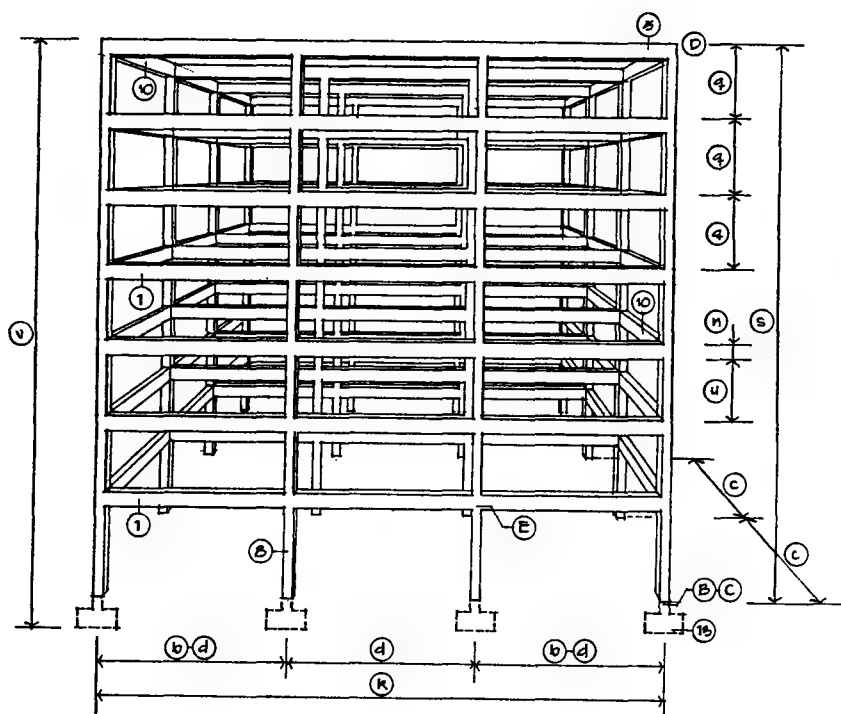
### КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ, АКТИВНЫХ ПО ВЫСОТЕ / ПРОТОТИПЫ



1. РАСТРОВЫЕ высотные сооружения
2. ОБОЛОЧКОВЫЕ высотные сооружения
3. СТОЛЬНЫЕ высотные сооружения
4. МОСТОВЫЕ высотные сооружения

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ | НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ, АКТИВНЫЕ ПО ВЫСОТЕ, – это системы из прочных, жестких элементов преимущественно в вертикальном протяжении, в которых перераспределение сил, а именно фокусирование и заземление горизонтальных сил (межэтажные и ветровые нагрузки) осуществляется определенной «устойчивой по высоте» структурой – высотной конструкцией. |
| СИЛЫ        | Элементы систем, т. е. элементы, передающие нагрузки, и стабилизаторы испытывают, как правило, нагрузки от комплекса различных переменных сил: система в КОМПЛЕКСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ                                                                                                                                                  |
| ПРИЗНАКИ    | Типичными структурными признаками являются:<br>КОНЦЕНТРАЦИЯ НАГРУЗОК / ЗАЗЕМЛЕНИЕ НАГРУЗОК / СТАБИЛИЗАЦИЯ                                                                                                                                                                                                                                   |

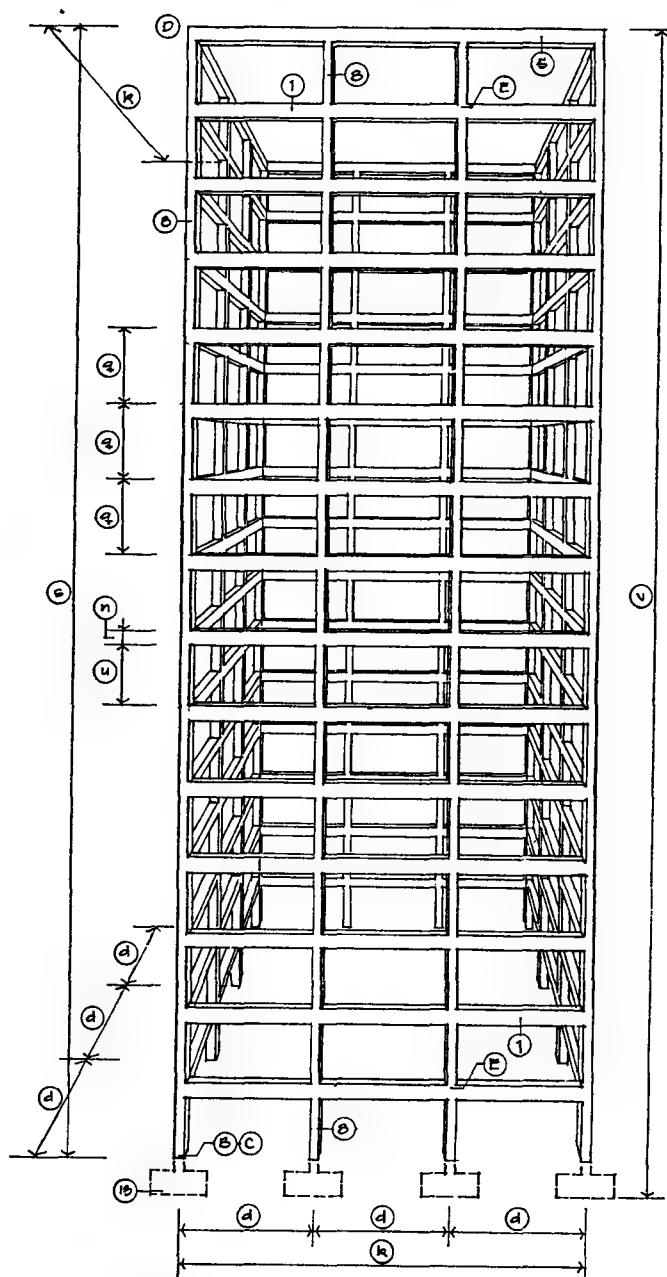
## ЭЛЕМЕНТЫ И НАЗВАНИЯ



5.1 Растровые высотные конструкции

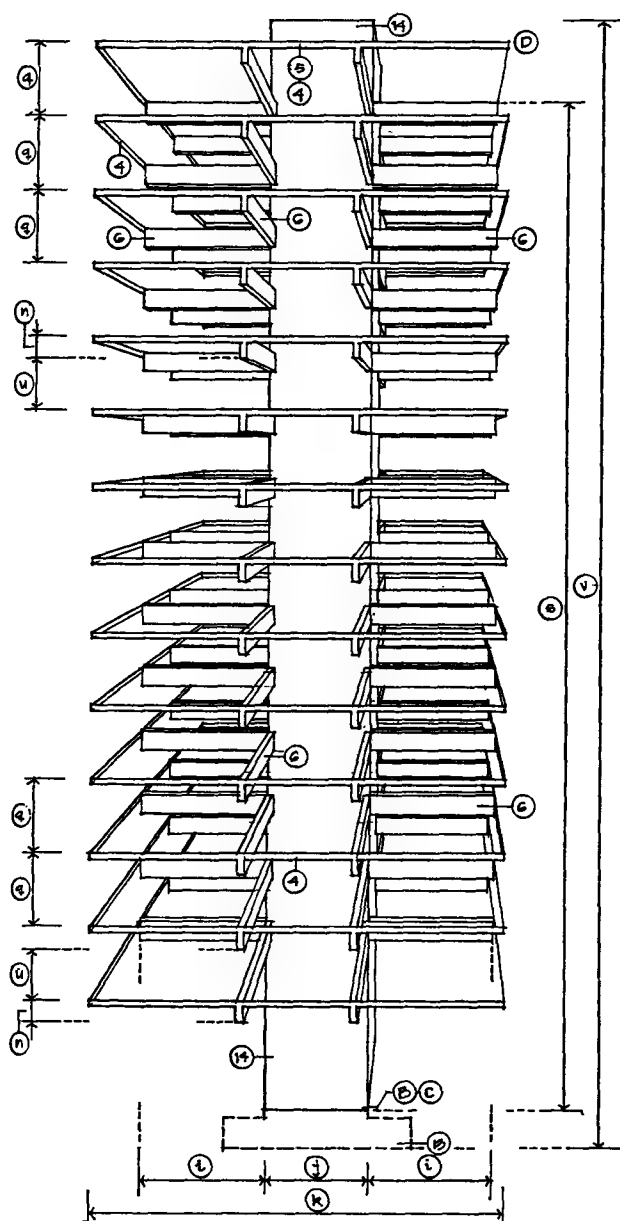
Топографические точки системы

- Ⓐ точка опоры
- Ⓑ точка пересечения опоры с основанием
- Ⓒ точка заземления
- Ⓓ угол карниза
- Ⓔ узел рамы
- Ⓕ
- Ⓖ
- Ⓗ



5.2 Оболочковые высотные конструкции

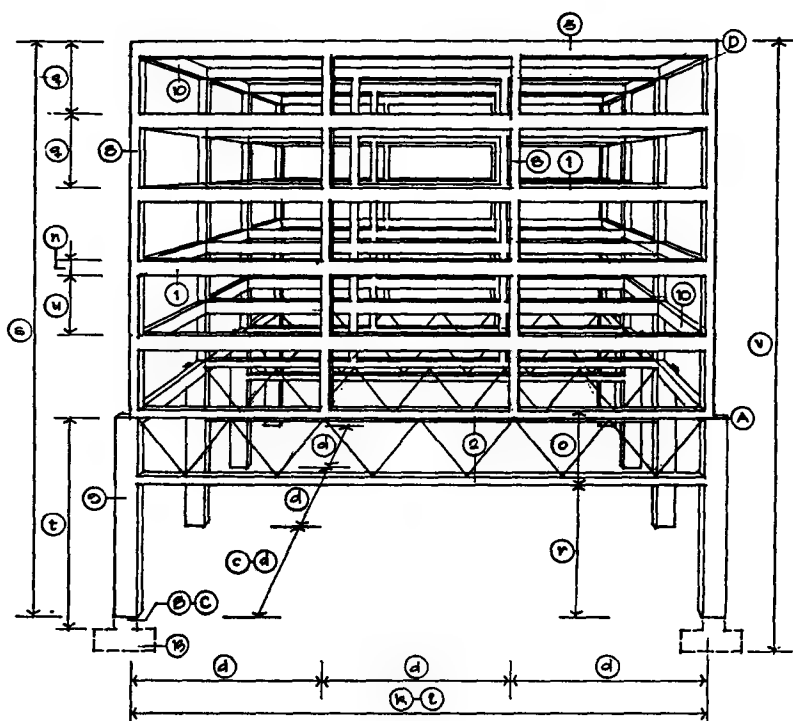




5.3 Столбные высотные конструкции

## Элементы системы

- ① балка-ригель
- ② мостовая ферма
- ③ междуэтажная балка
- ④ фронтальная балка
- ⑤ карнизная балка
- ⑥ консоль, консольная балка
- ⑦ кольцевой анкер
- ⑧ опора
- ⑨ пилон
- ⑩ стабилизирующая рама
- ⑪ стабилизирующий фахверк (связи жесткости)
- ⑫ опора
- ⑬ фундамент, основание
- ⑭ ствол, стержень

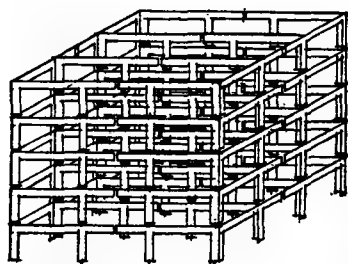


5.4 Мостовые высотные конструкции

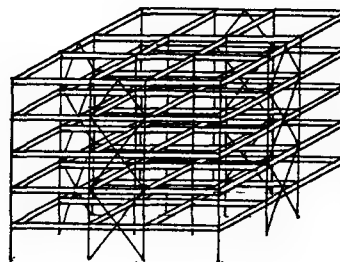
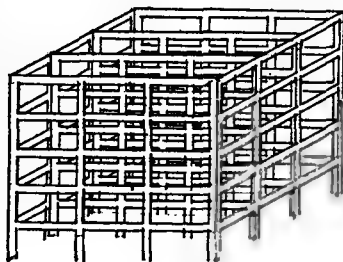
## Параметры системы

- Ⓐ расстояние между балками
- Ⓑ пролет балки, пролет
- Ⓒ расстояние между балками
- Ⓓ шаг
- Ⓔ размер раstra (квадратный)
- Ⓕ ширина раstra / длина раstra
- Ⓖ диаметр оболочки
- Ⓗ ширина оболочки / глубина оболочки
- Ⓙ длина консоли
- Ⓚ ширина ствола / глубина ствола
- Ⓛ ширина системы / глубина системы
- Ⓜ длина моста / ширина пролета моста
- Ⓨ расстояние между мостовыми фермами
- ⓐ высота балочной конструкции
- ⓑ высота мостовой конструкции
- ⓓ общая высота конструкции
- ⓔ высота этажа
- ⓖ высота моста
- ⓗ высота карниза
- ⓙ высота пилонов / длина пилонов
- ⓚ высота в свету
- ⓛ высота системы
- ⓜ диаметр
- ⓝ диаметр

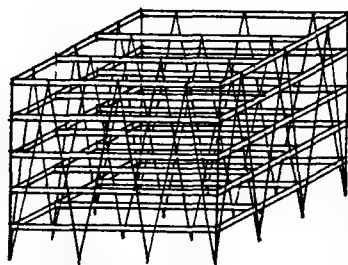
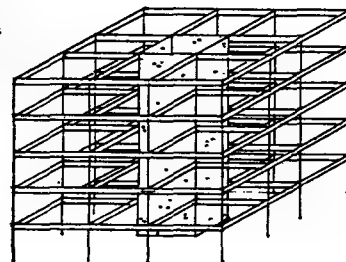
## 5.1 РАСТРОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



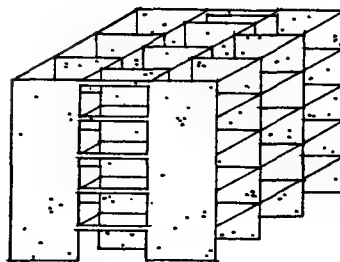
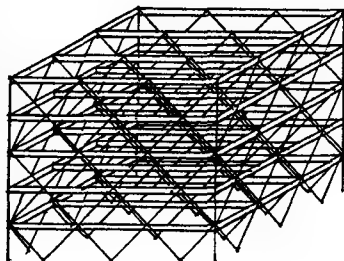
Растровые системы  
с рамами



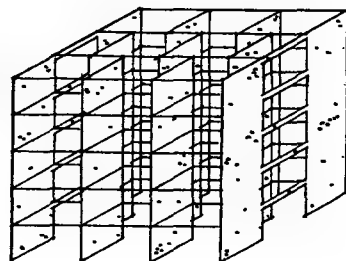
Растровые системы со стой-  
ками и стабилизирующими  
связями



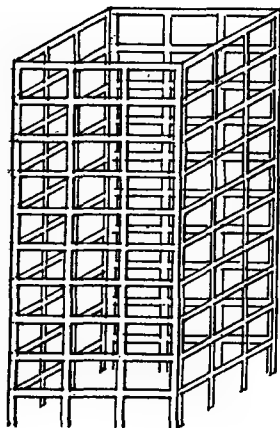
Растровые системы  
с фахверками



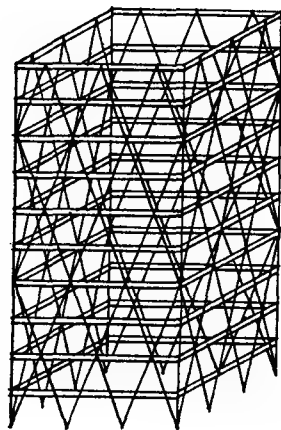
Растровые системы  
со стенками



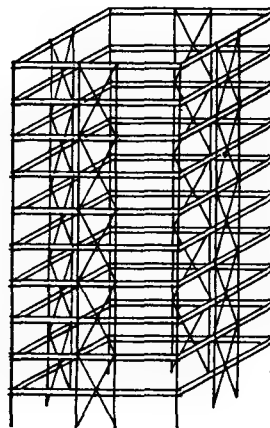
## 5.2 ОБОЛОЧКОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



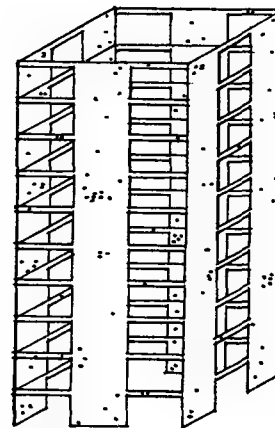
Оболочковые системы  
с рамами



Оболочковые системы  
с фахверками

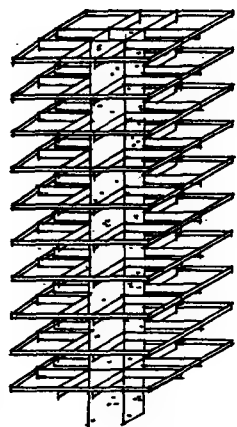


Оболочковые системы со стойка-  
ми и стабилизирующими связями

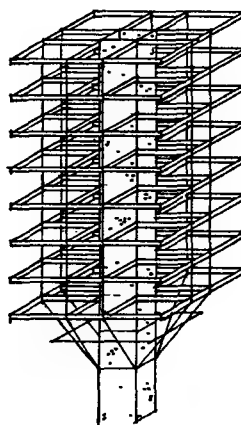
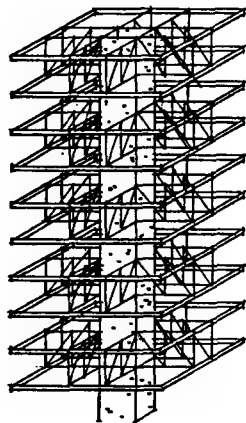


Оболочковые системы  
со стенками

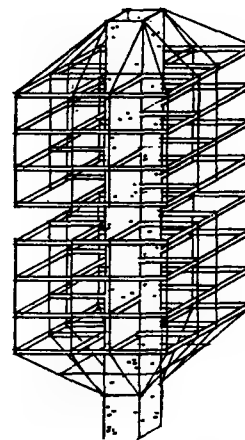
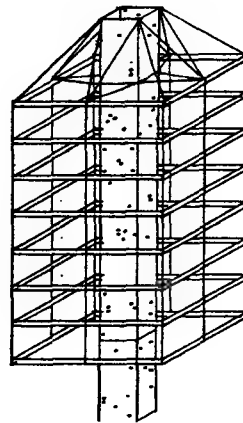
### 5.3 СТОЛЬНЫЕ ВЫСОТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



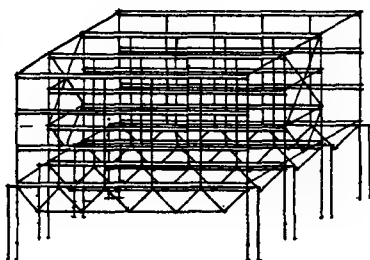
Консольно-стольные системы



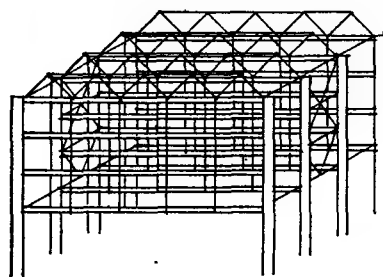
Системы с косвенной нагрузкой ствола



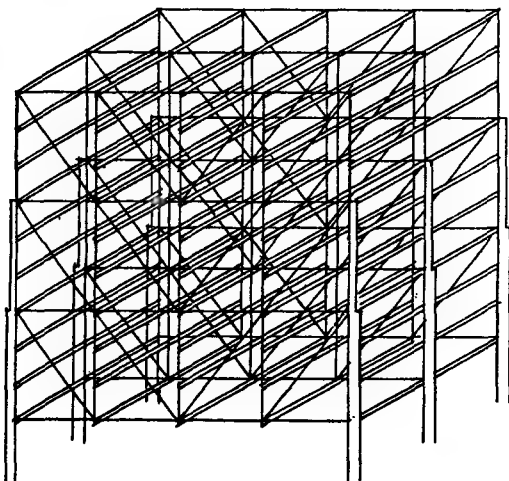
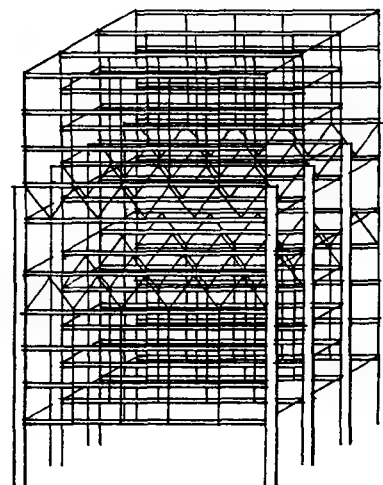
### 5.4 МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СИСТЕМЫ



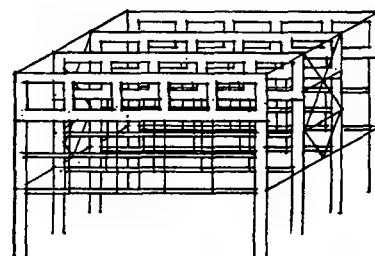
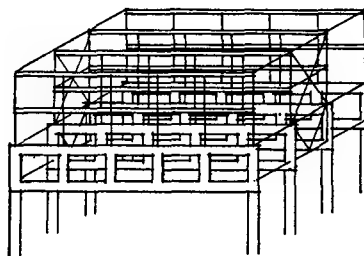
Система с мостовыми фермами

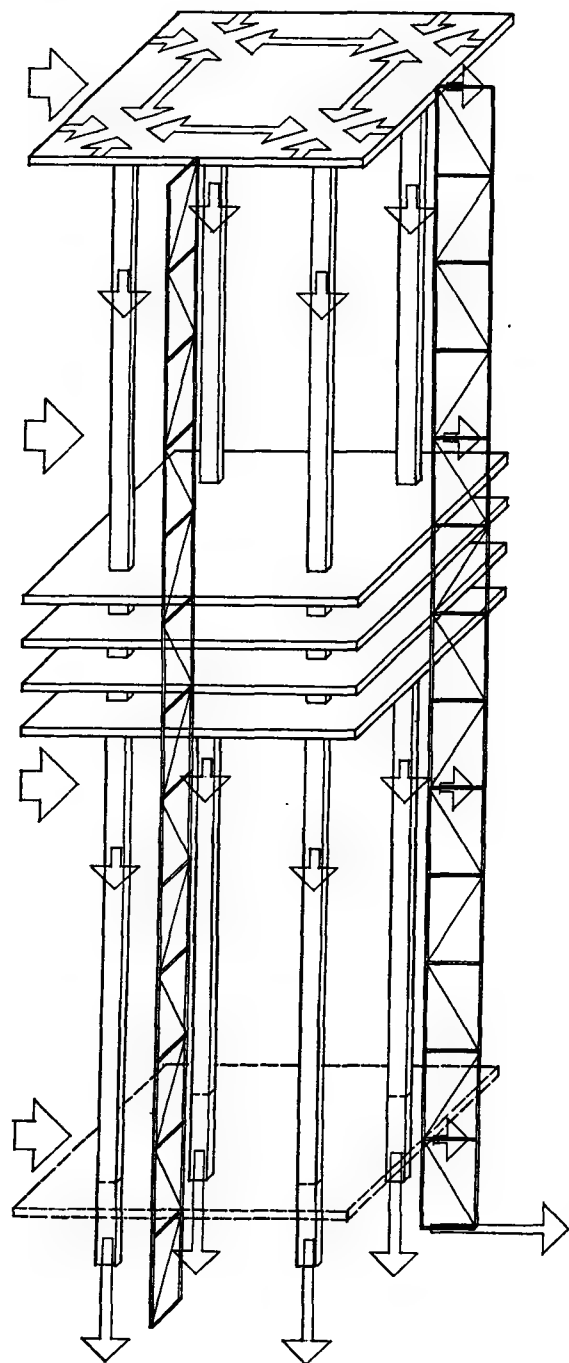


Системы с использованием межферменного пространства



Многоэтажные мостовые системы

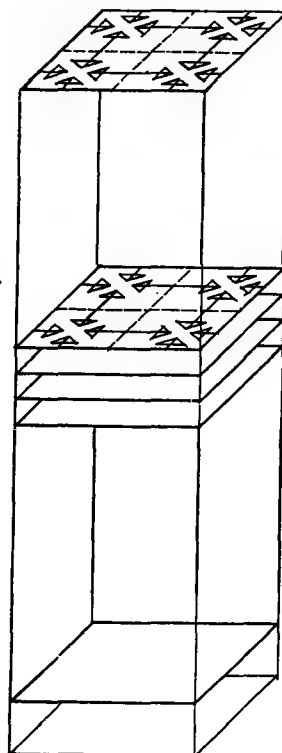




Целью проектирования несущих систем, активных по высоте, является, таким образом, максимальная интеграция трех систем, чтобы одна система выполняла одновременно и функции одной или обеих других систем, и в оптимальной ситуации взяла на себя все функции.

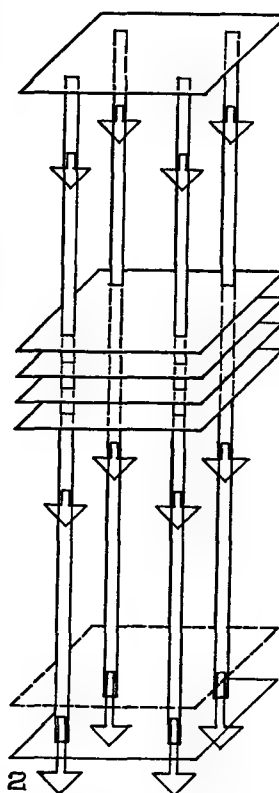
## ПРОЕКТ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, АКТИВНЫХ ПО ВЫСОТЕ, СОСТОЯЩИЙ ИЗ ТРЕХ ОПЕРАЦИЙ

- 1 Система горизонтального фокусирования нагрузки на этажах = КОНЦЕНТРАЦИЯ НАГРУЗКИ
  1. Распределение нагрузки по участкам поверхности.
  2. Горизонтальный поток нагрузок.
  3. Геометрия мест восприятия нагрузок.
  4. (Вторичная) несущая конструкция.
- 2 Система вертикальной передачи нагрузок с этажей = «ЗАЗЕМЛЕНИЕ» НАГРУЗКИ
  1. Топография мест передачи нагрузок.
  2. Вертикальный поток межэтажных нагрузок.
  3. (Первичная) несущая конструкция.
  4. Отведение нагрузки через основание.
- 3 Система бокового повышения жесткости от горизонтальных нагрузок = СТАБИЛИЗАЦИЯ
  1. Повышение жесткости строительной конструкции в ней самой аддитивно / интегрировано / комбинировано.
  2. Механика перераспределения нагрузки.
  3. Вертикальный поток горизонтальных нагрузок.
  4. Передача нагрузок через основание.



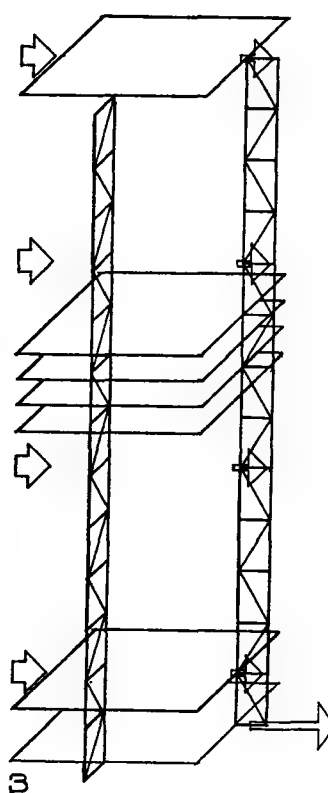
1

концентрация нагрузок



2

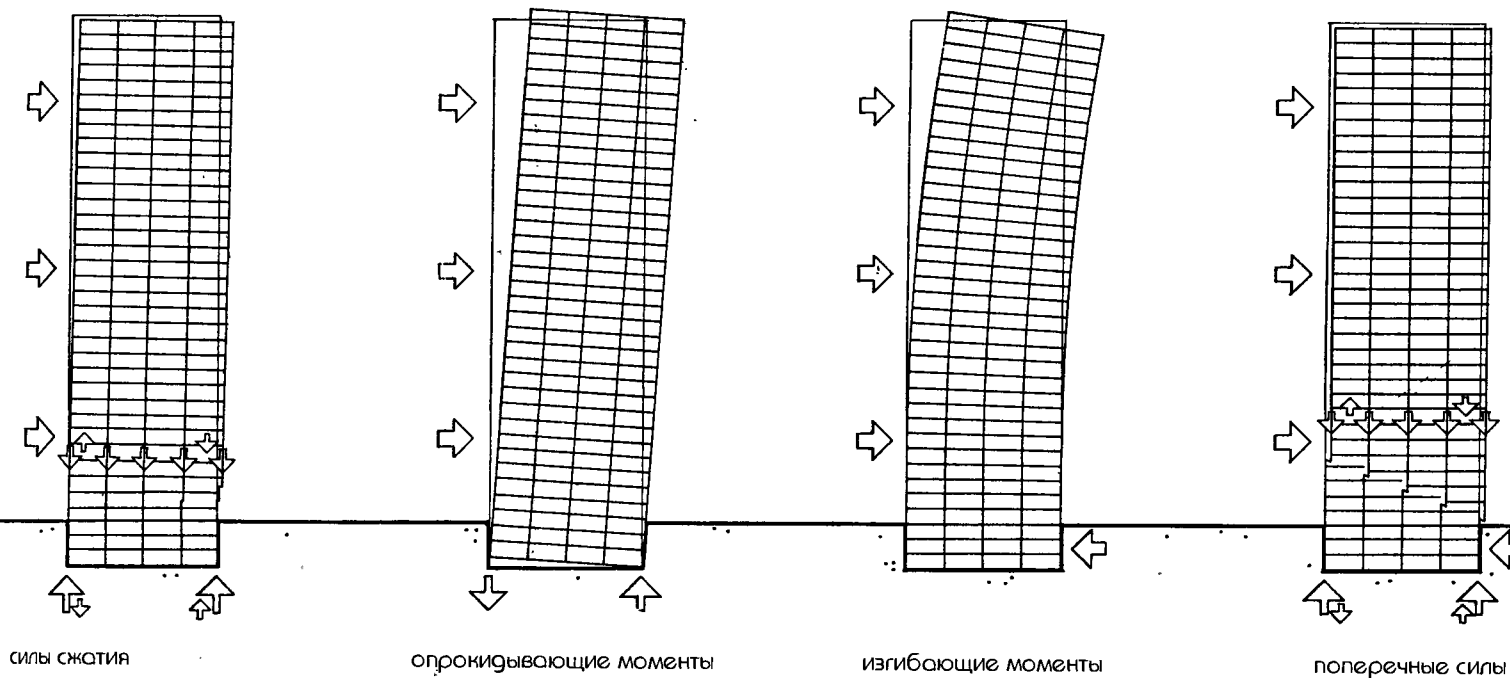
заземление нагрузок



3

боковая стабилизация

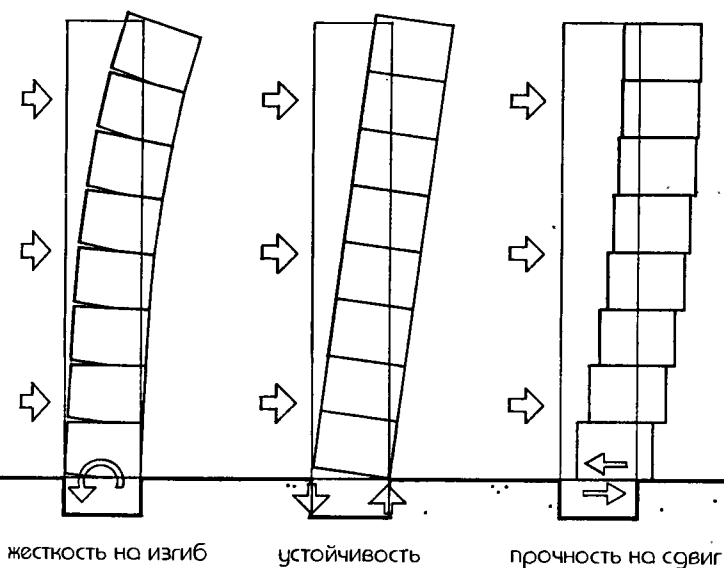
## КРИТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ И ДЕФОРМАЦИИ



Решающими для проектирования вертикальной несущей системы нагрузками являются: собственный вес, динамическая нагрузка и ветер. Вместе они образуют силу, которая переда-

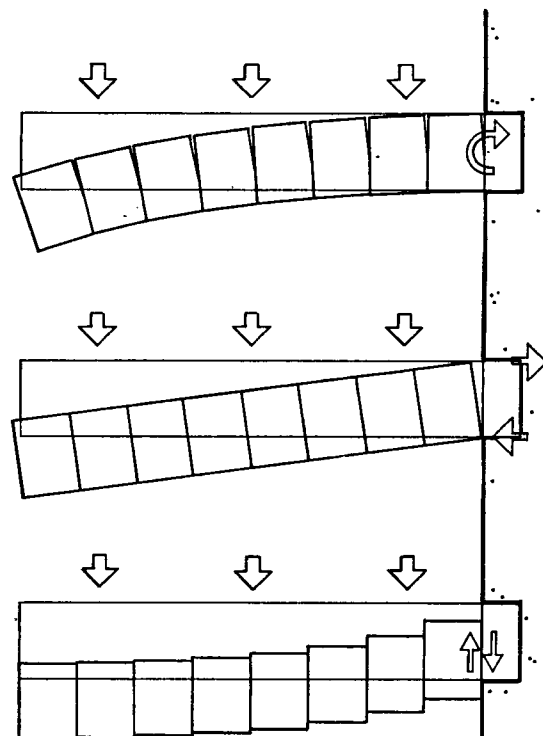
ется на фундамент. Чем ближе направление силы к горизонтальной плоскости, тем труднее ее отводить.

## НЕСУЩИЙ МЕХАНИЗМ ПРИ БОКОВОЙ НАГРУЗКЕ



Скоростное давление ветра на единицу площади растет с высотой здания. Его действие на несущую конструкцию преимущественно противоположно действию вертикальных нагрузок. Скоростное давление ветра нагружает вертикальную несущую конструкцию подобно тому, как вертикально распределенная нагрузка действует на консольную балку.

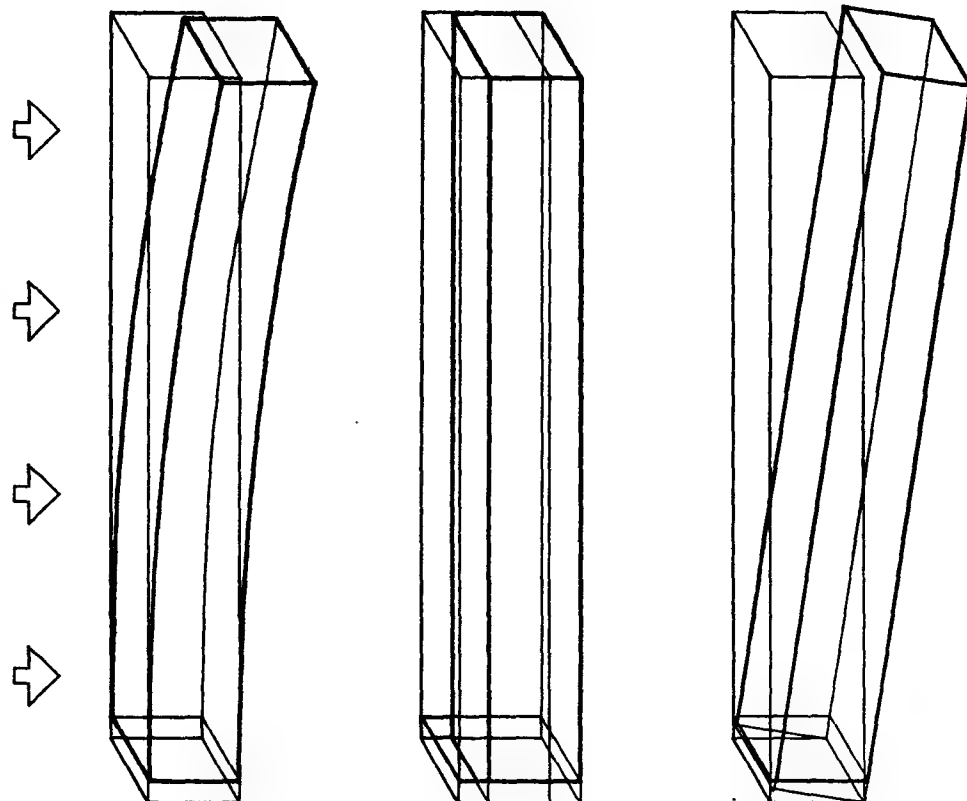
сравнение с механизмом  
консольной балки



## ДЕФОРМАЦИЯ ОДНОРОДНЫХ ВЫСОТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Горизонтальные силы, вызванные ветром или землетрясением, создают различные комплексные движения и деформации в строительных сооружениях с повышенной высотой.

Защита строительных сооружений от такого рода изменений является одной из главных задач проектирования несущих конструкций, активных по высоте, и может даже явиться причиной выбора самой строительной формы.

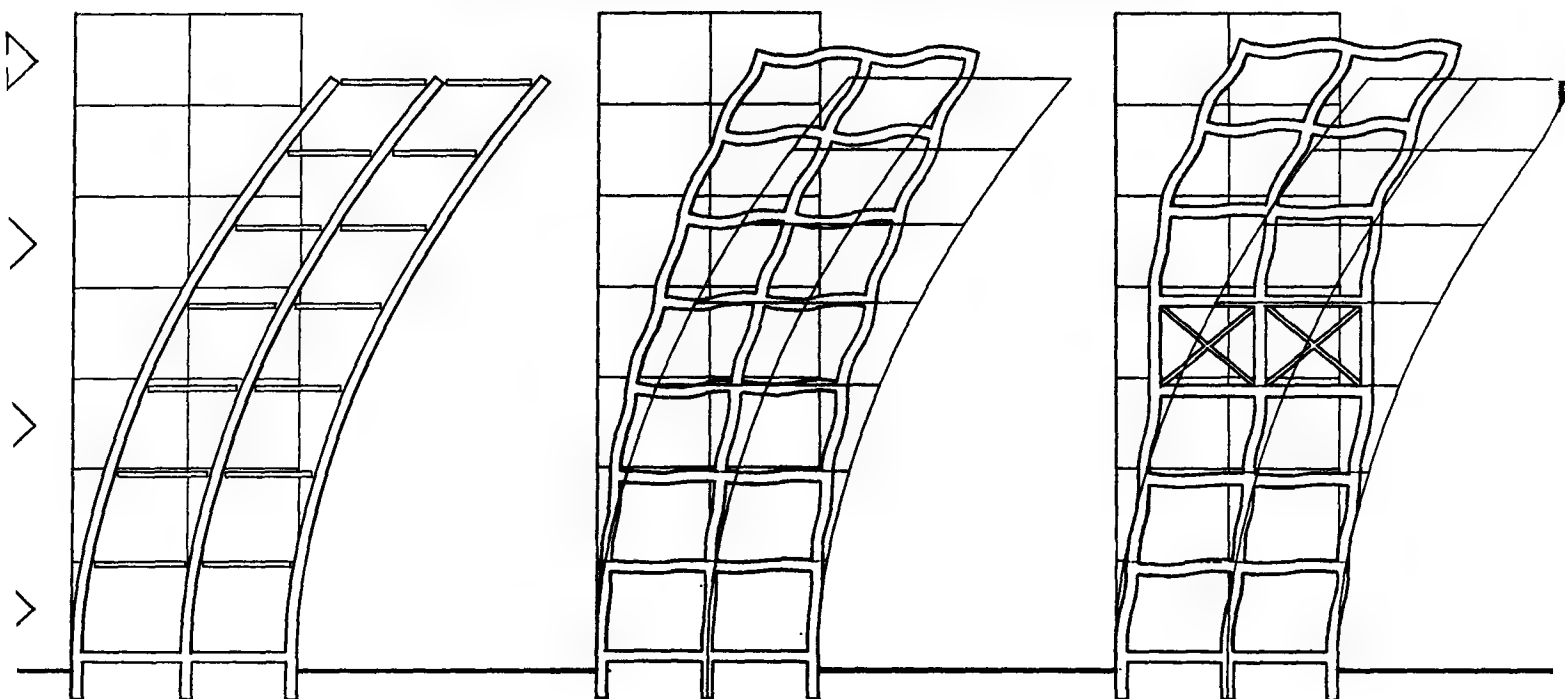


изгиб

сдвиг

опрокидывание

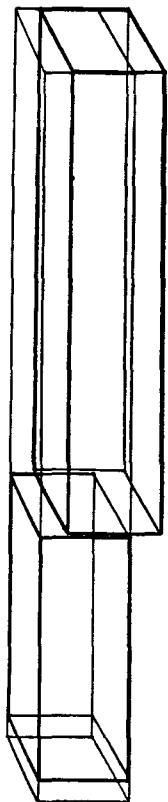
## ДЕФОРМАЦИЯ И ПРИДАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ВЫСОТНОЙ КОНСТРУКЦИИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ



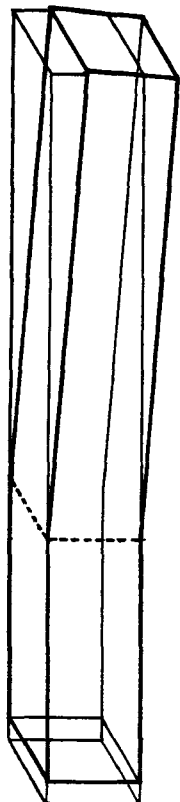
Зашемленные опоры с шарнирным соединением балок

Неразрезная (жесткая) рамная решетка

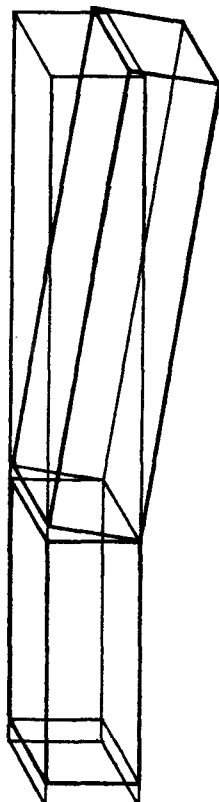
Рамная решетка с элементами жесткости в среднем этаже



сдвиг



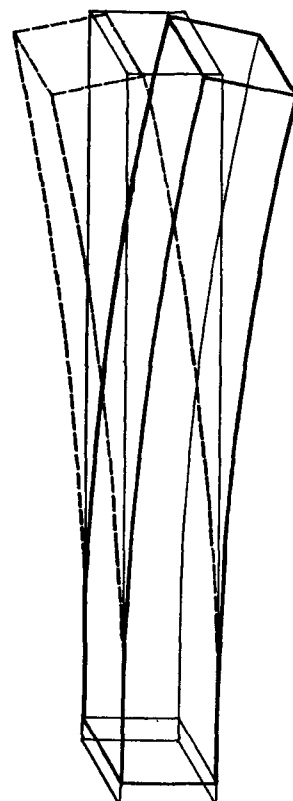
наклон



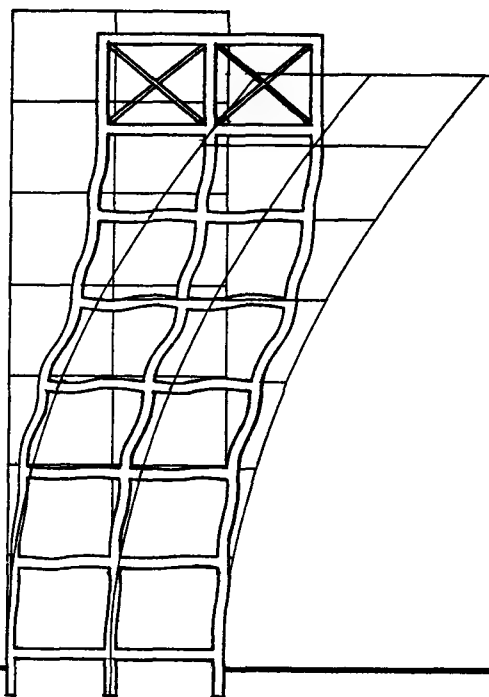
преломление



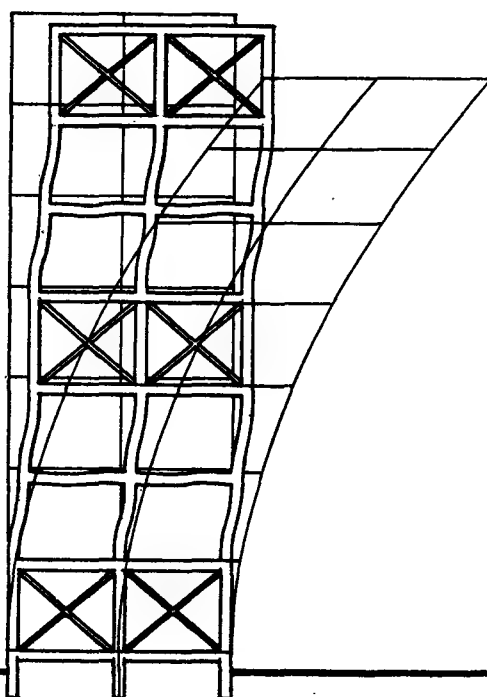
кручение



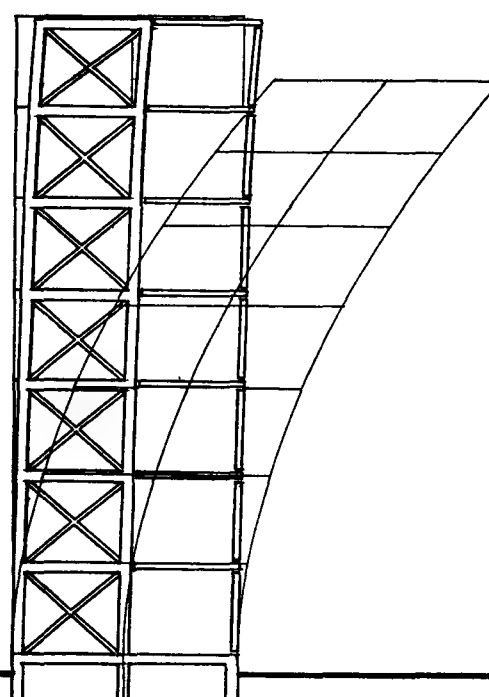
колебания



Рамная решетка с элементами жесткости в верхнем этаже



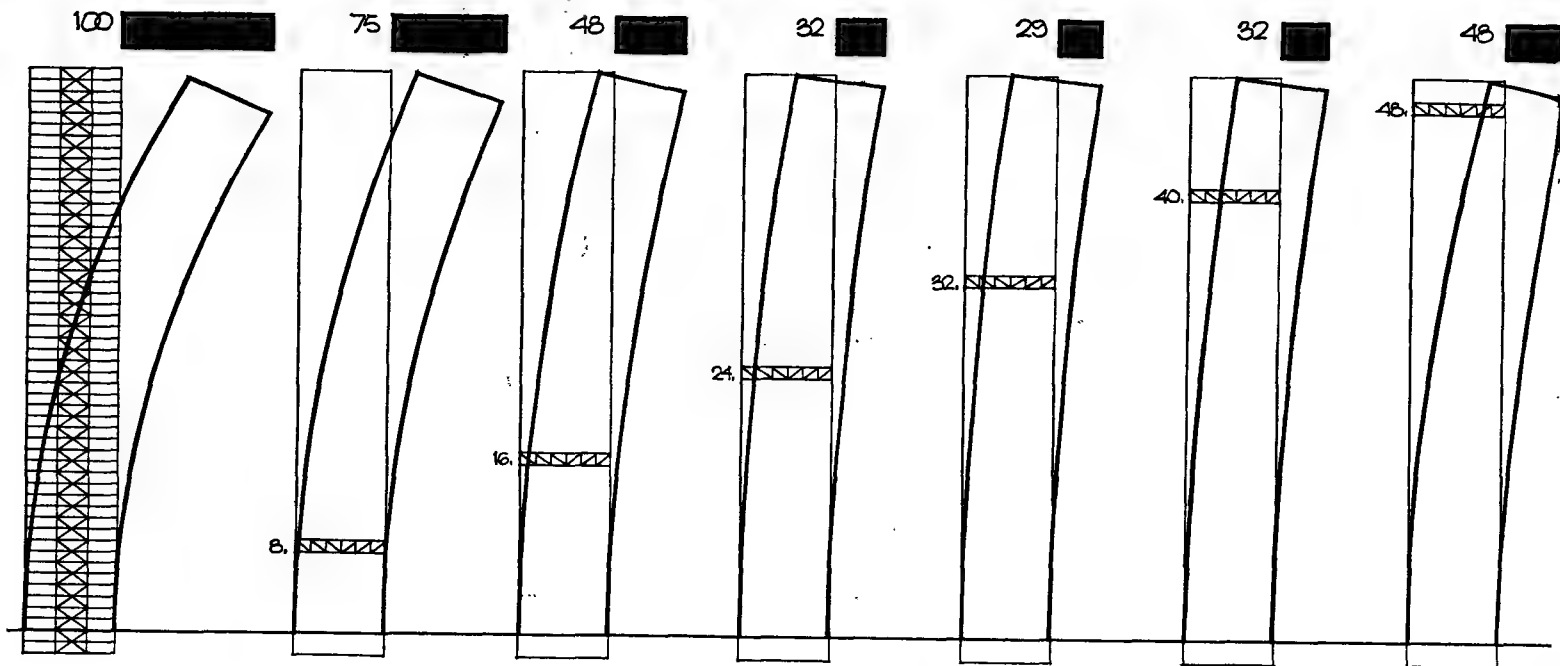
Рамная решетка с элементами жесткости на отдельных этажах



Повышение жесткости вертикальной многоэтажной рамы

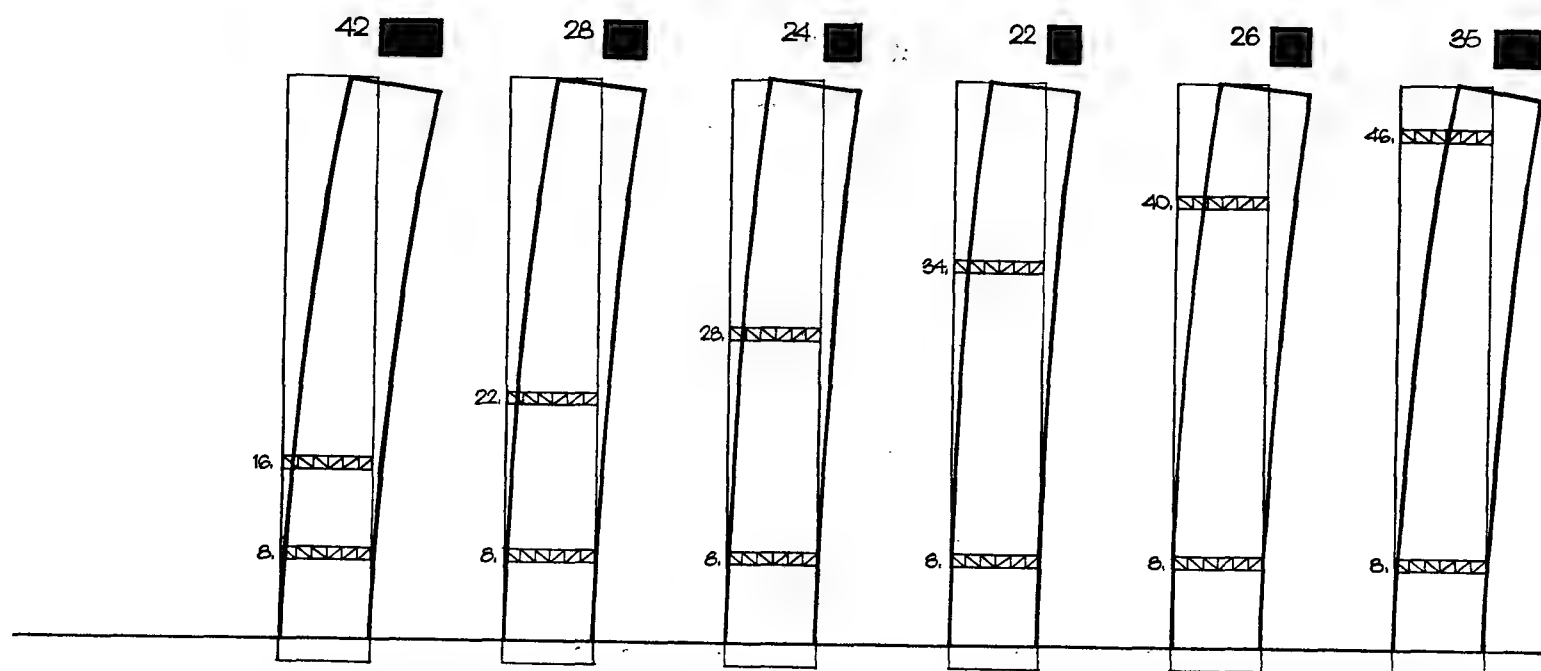
# ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ НА РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЕ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОТНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Пример: 50-этажное высотное здание с фахверковым повышением жесткости (по Бюттнеру/Хампе «Строительное сооружение / Несущая конструкция / Несущая структура»).



У 50-этажного высотного сооружения максимальная эффективность повышения жесткости междуэтажного перекрытия (минимальное отклонение

верхнего этажа) находится в зоне 30-го этажа, т. е. приблизительно на высоте  $3/5$  общей вертикали здания.

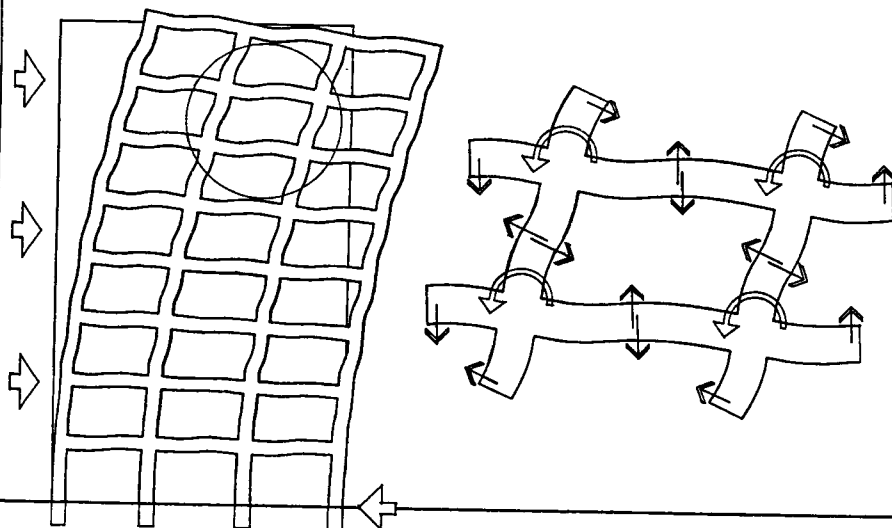


Благодаря дополнительному междуэтажному повышению жесткости (в области 8-го этажа) значительно повышается устойчивость высотного сооружения

(уменьшаются отклонения последнего этажа). Максимальная эффективность снова находится в области 30-го этажа.

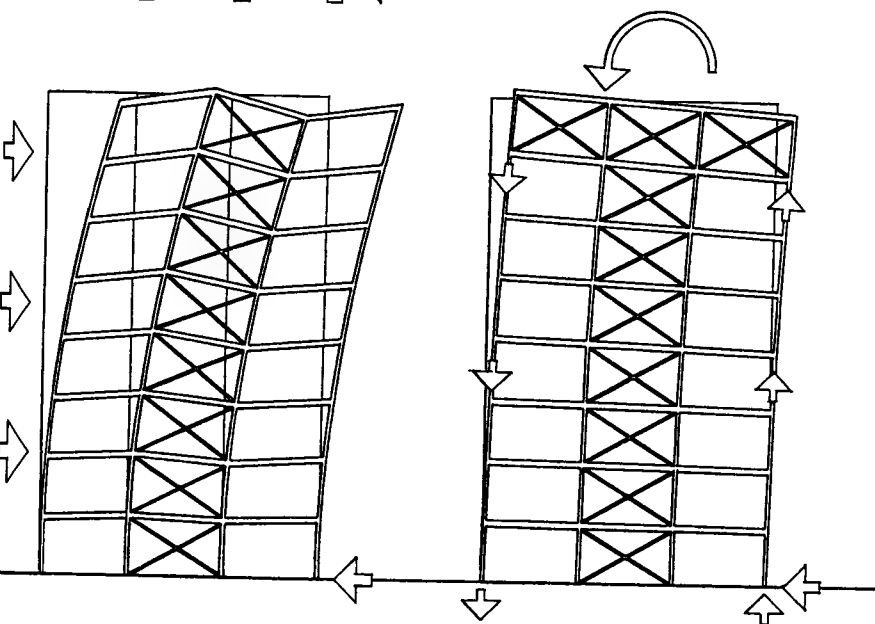


# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТИПИЧНЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПО ВЕРТИКАЛИ



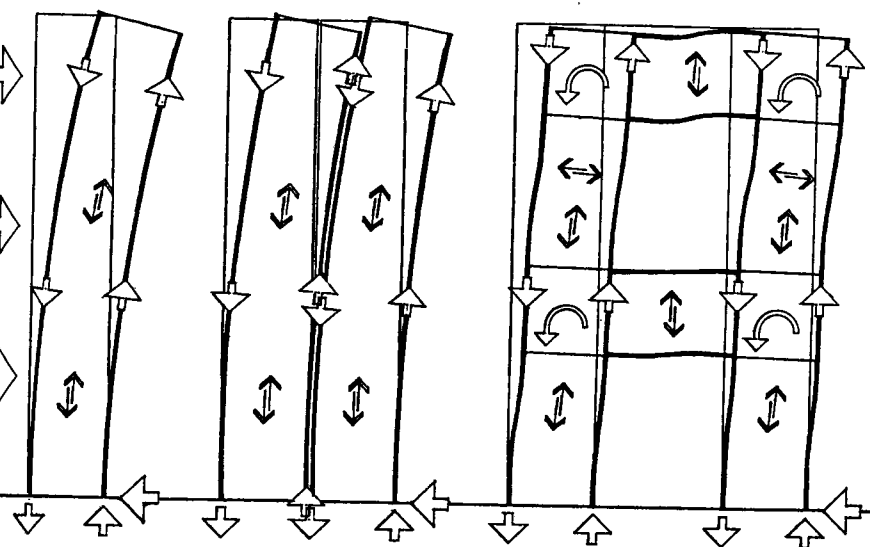
Рамная система

Рамная система бокового повышения жесткости (от ветра или землетрясения) основана на прочности на изгиб рамных элементов (ригеля и стойки), а также на их прочном соединении. При деформации вследствие боковых нагрузок в стойках и ригелях рам возникают поперечные усилия. Из-за этого в узлах соединения вследствие их динамической связи образуются крутящие моменты, которые противостоят деформации.



Система главного ригеля

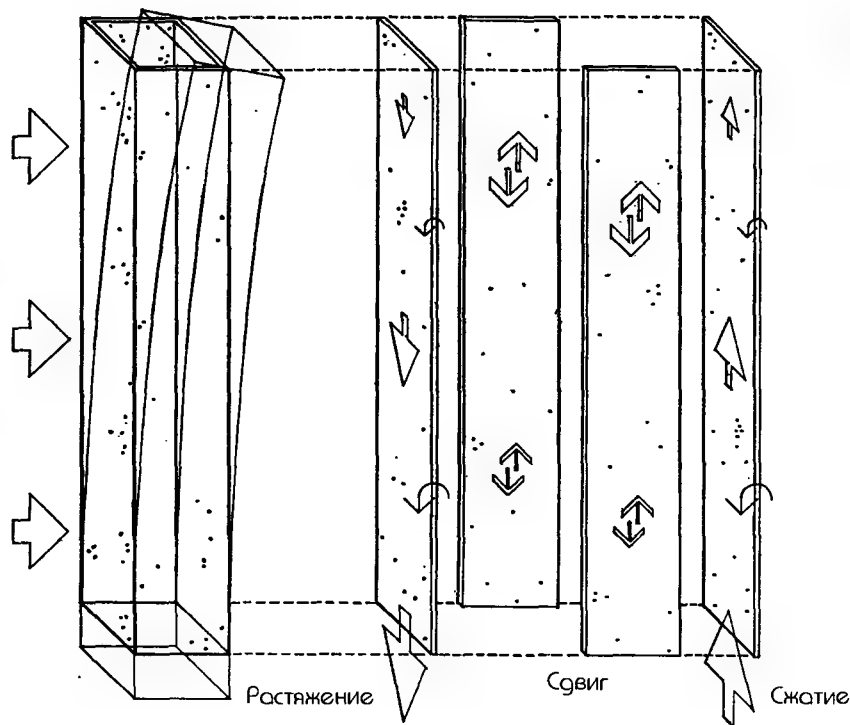
Благодаря повышению жесткости последнего этажа и его соединения со стенкой, подверженной сдвигу, увеличиваются возможности механизма повышения жесткости. Каждая деформация стены, подверженной сдвигу вследствие боковой нагрузки, способствует тому, что над главным ригелем напряжению подвергаются главные опоры. Возникающие силы на растяжение и сжатие вызывают, помимо непосредственного сопротивления, противодействующий момент, который значительно уменьшает отклонение и снижает напряжение на изгиб.



Система труб

Жесткое на сдвиг образование внешних стен, а также их динамическая связь между собой создают принцип заземленных труб. Эта несущая система особенно эффективна против боковой нагрузки:

1. Включение всех опор, связей, подоконных ригелей и внешних стен в механику бокового сопротивления.
2. Оптимальное расширение площади сопротивления.



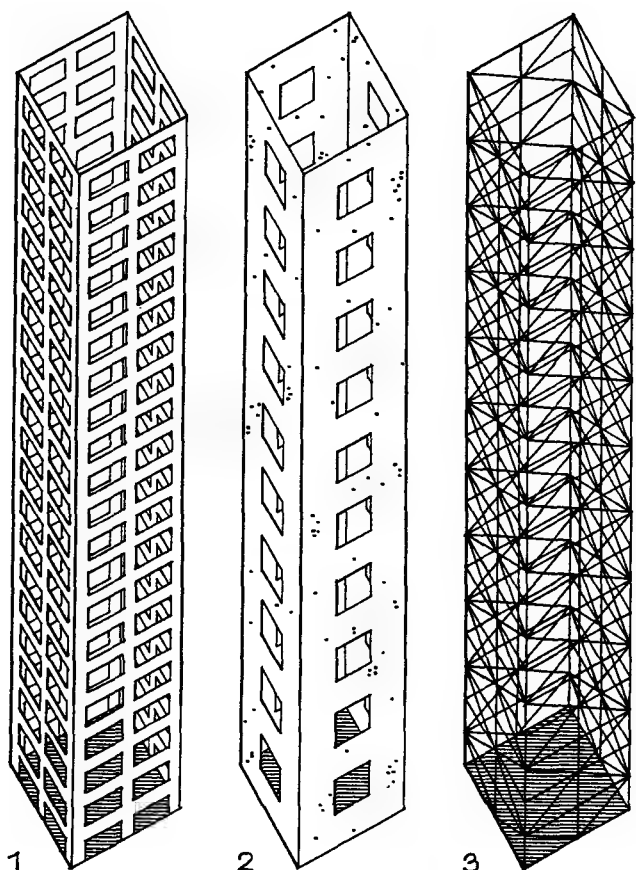
### ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПО ПРИНЦИПУ ТРУБ

Несущая система

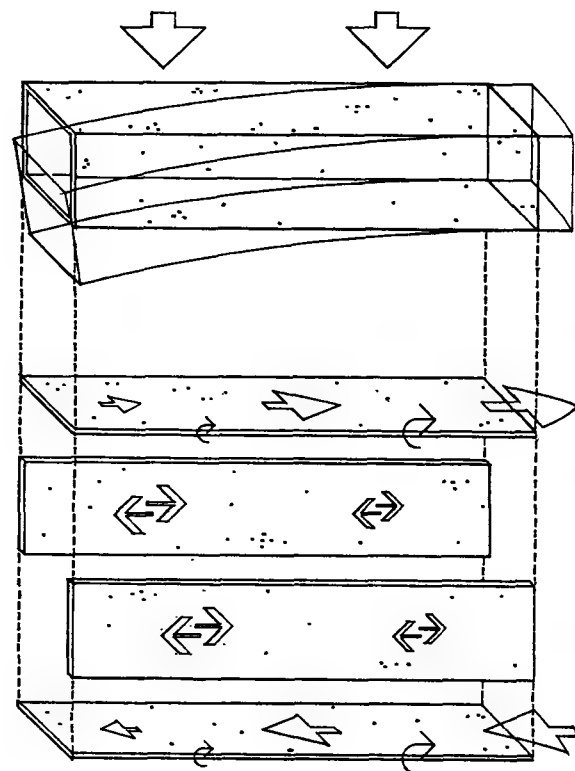
1. Образование каждой внешней стены как вертикальной консольной балки, прочной на сдвиг, сжатие и растяжение.
2. Динамическое соединение всех внешних стен в единую вертикальную балку коробчатого сечения = консольная балка.

Принцип действия Внешние стены в направлении ветра действуют как стены со срезающим усилием, две другие стены действуют как сжимающие и, соответственно, растягивающие элементы, а также как элементы сопротивления изгибу. Это означает, что несущая конструкция внешних опор для отведения вертикальных нагрузок полностью включается в механизм сопротивления боковым силам.

### ТИПИЧНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ В ВИДЕ ТРУБ

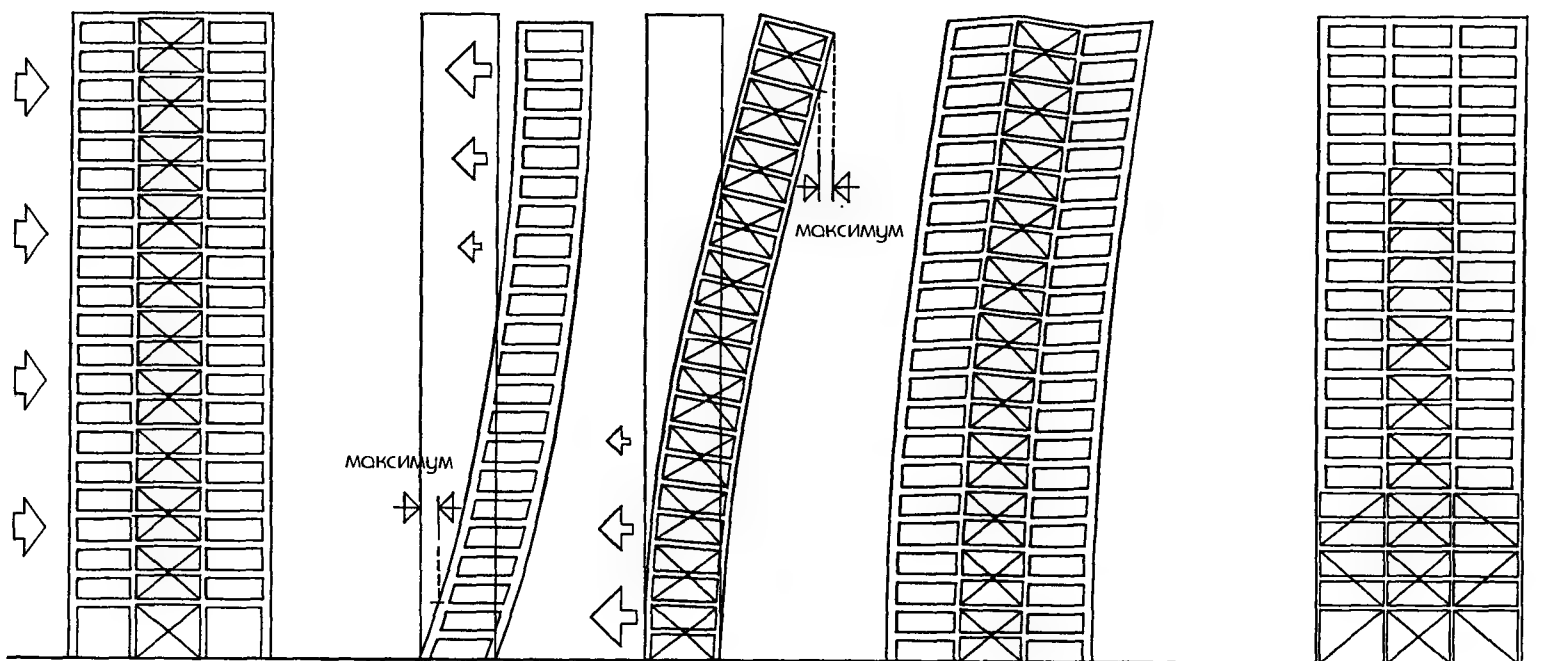


1. Трубы-рамы
2. Трубы-стены
3. Решетчатые трубы



Принцип действия труб высотного здания соответствует поведению горизонтальной консольной балки коробчатого сечения под вертикальной нагрузкой.

## МЕХАНИЗМ СТАБИЛИЗАЦИИ КОМБИНАЦИИ РАМА + СТЕНА, ИСПЫТЫВАЮЩАЯ СДВИГ



Система: рама + стена,  
испытывающая сдвиг

Поведение рамы и, соответственно, стены и их взаимостабилизация

Идеализированная структура  
несущей конструкции

Деформации сдвига с максимальным смещением вниз возникают особенно в рамной несущей конструкции. Устойчивость, таким образом, находится в верхней части системы.

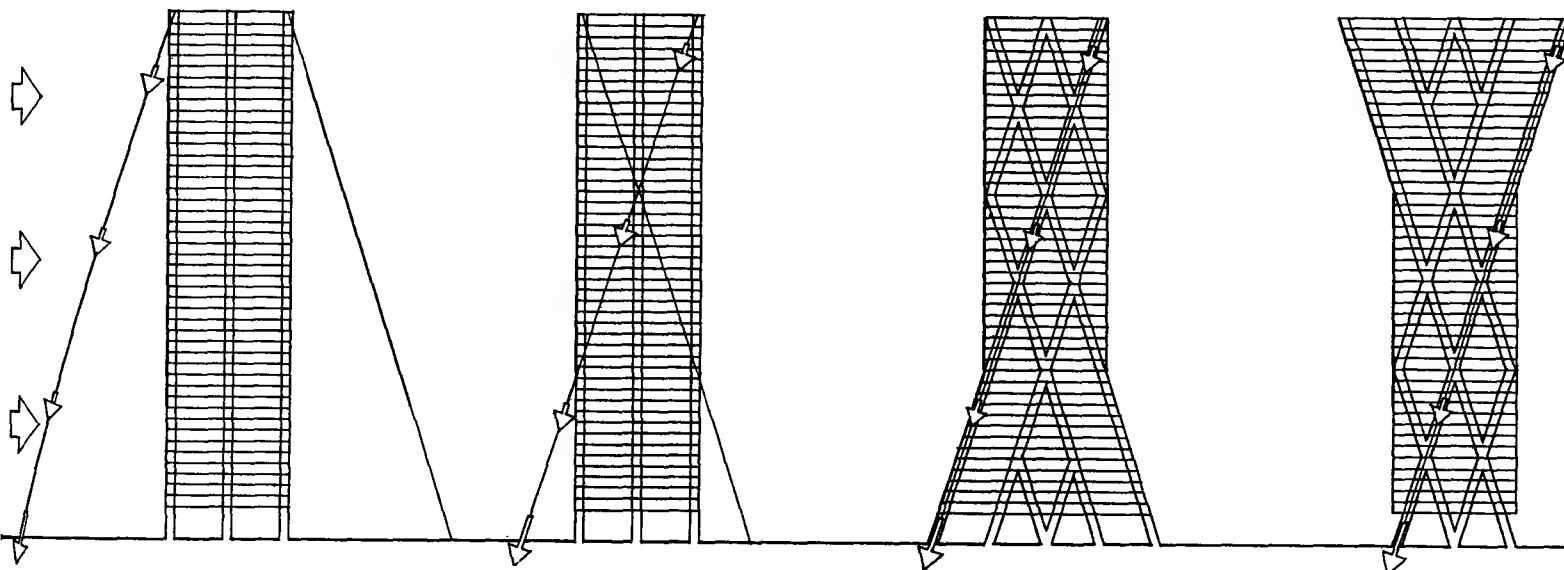
Устойчивость конструкции, таким образом, лежит в нижней части системы.

В несущей конструкции со стенами, испытывающими сдвиг, деформации изгиба возникают, главным образом, вверху.

Благодаря комбинации элементов взаимобразно блокируются деформации. Общее отклонение благодаря этому существенно ограничивается.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕХАНИЗМА УДЕРЖАНИЯ

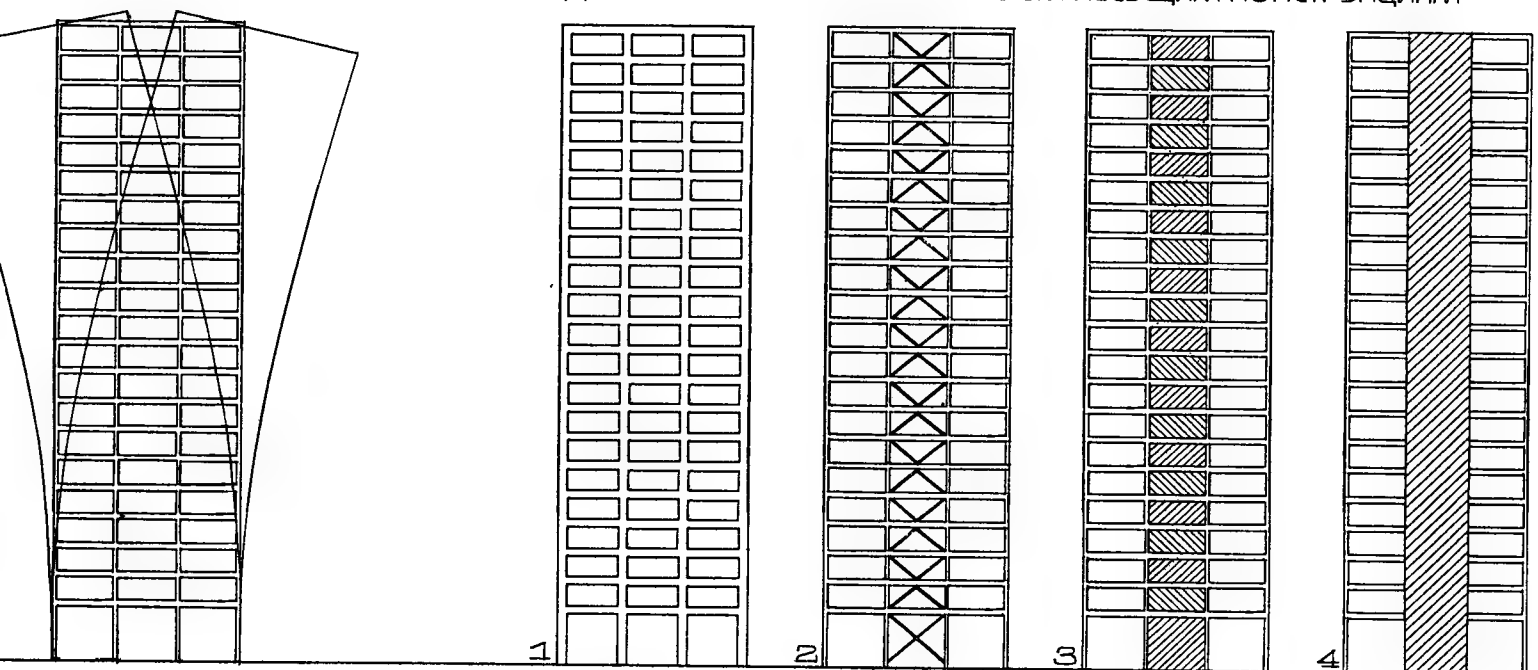
Система напряженных опор



С помощью включения стабилизирующего механизма посредством натяжных тросов в систему вертикальной передачи нагрузок возникает

система напряженных опор. Предварительно напряженные ванты внутри наклонных опор препятствуют критическому отклонению.

## ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРИДАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЖЕСТИКОСТИ НЕСУЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ



Отсутствие сопротивления горизонтальным силам

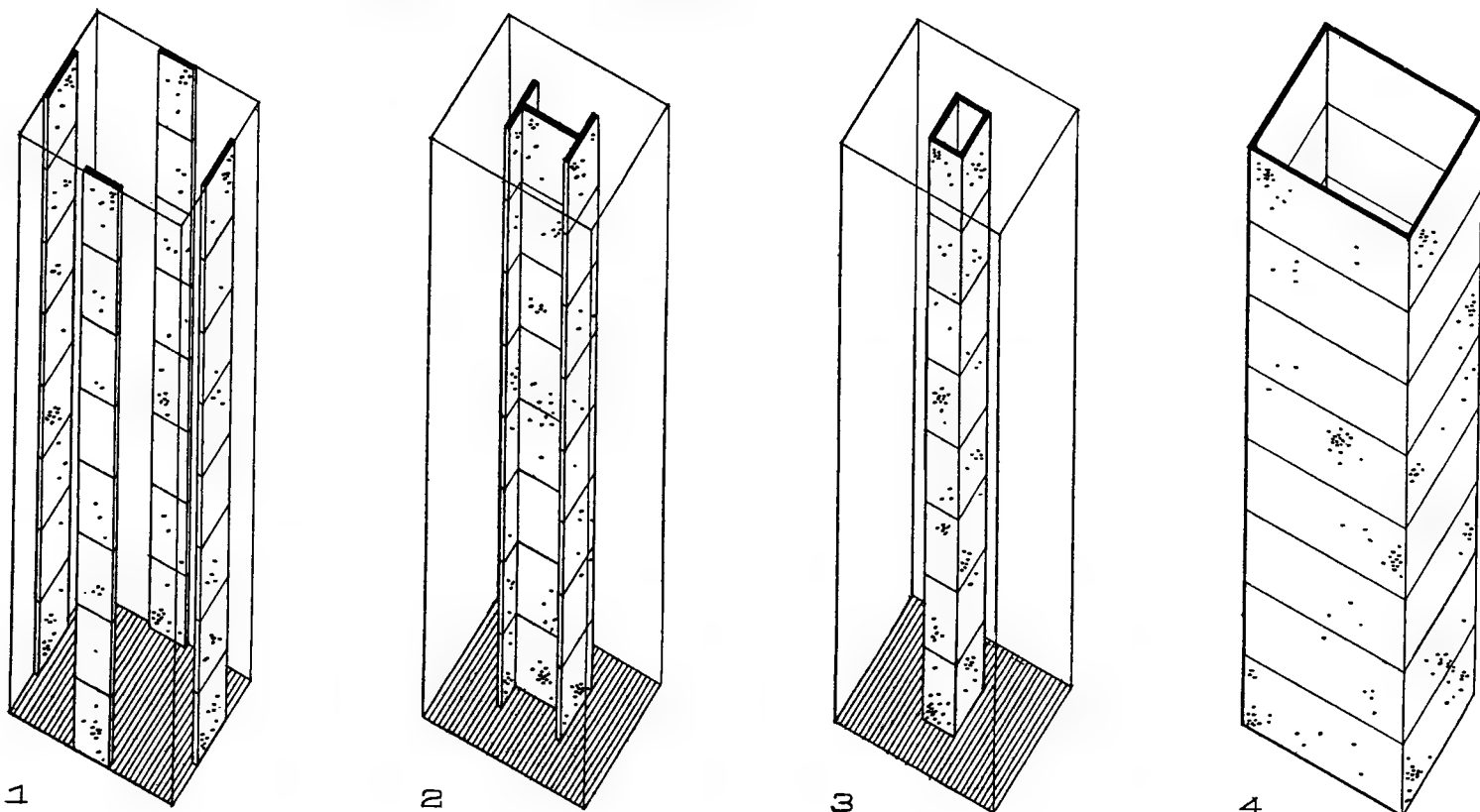
Неразрезные рамы

Фохверковое соединение

Сплошное заполнение каркаса

Неразрезные стены

## СТАНДАРТНЫЕ ФОРМЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖЕСТИКОСТИ



1

Внешние стены, работающие на сдвиг

2

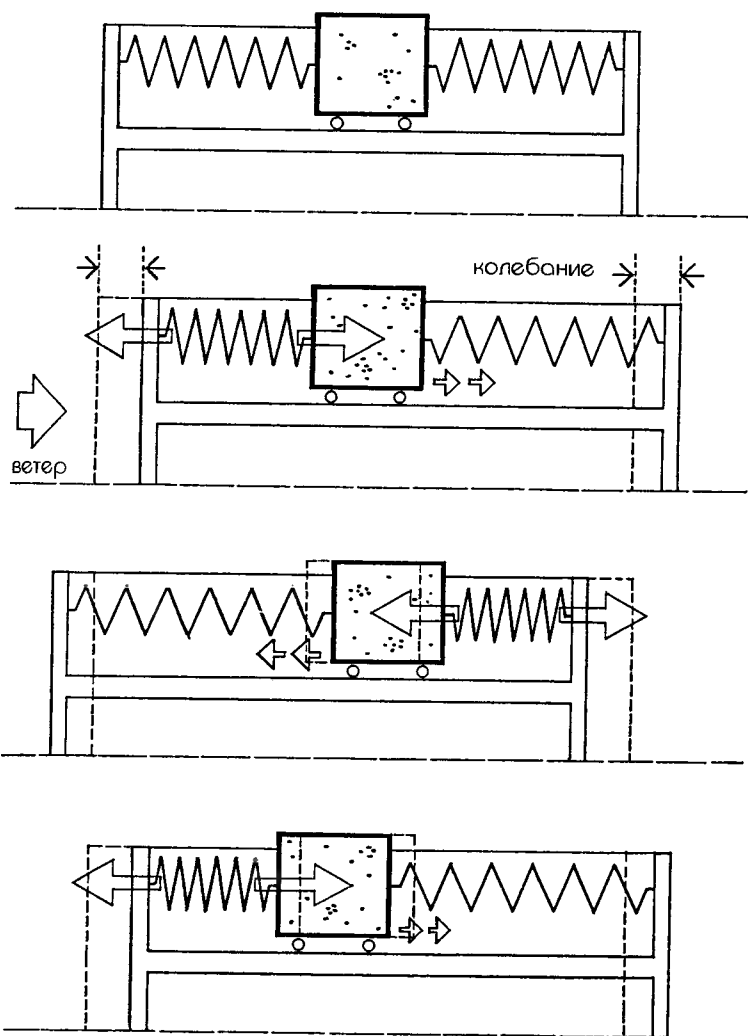
Внутренние стены, работающие на сдвиг

3

(Центральный) ствол

4

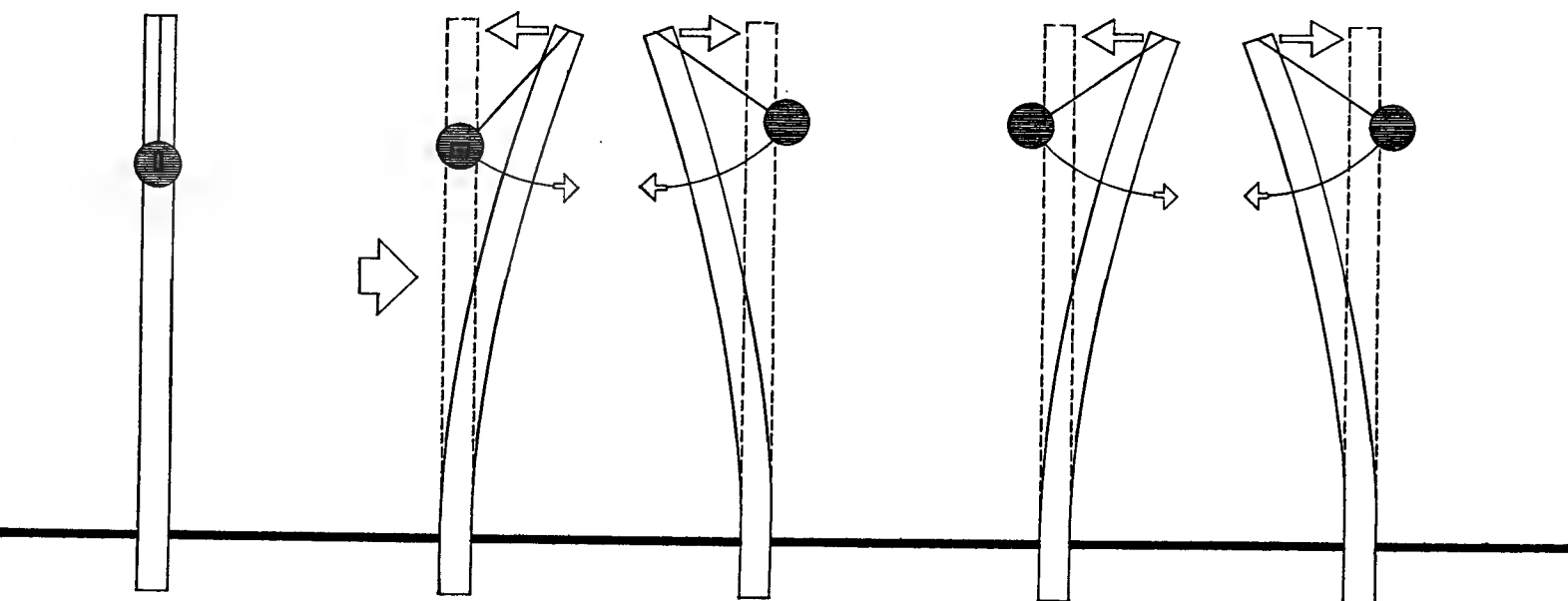
Трубы



### ДИНАМИЧЕСКИЙ ГАСИТЕЛЬ КОЛЕБАНИЙ В ВЫСОТЫХ СТРОЕНИЯХ

Тяжелое, подвижно установленное тело, по бокам соединенное пружинами с вершиной высотной строительной конструкции, имеющее ту же частоту вибрации, что и здание, выступает как стабилизатор по отношению к ветровым колебаниям.

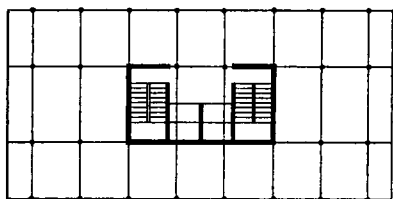
С помощью пружины колебания здания передаются на тело в форме встречных колебаний = контррезонанс (антирезонанс). Благодаря этому собственные колебания здания уменьшаются или полностью компенсируются.



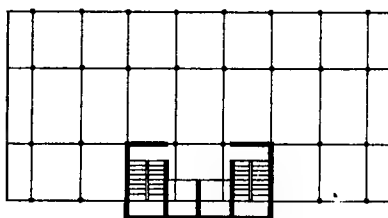
Принцип действия демпфера колебаний можно сравнить с маятниковым движением массы, подвешенной на конце стержня.

Маятник движется в противофазе к колебаниям стержня и уменьшает его отклонение.

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВЫХ СВЯЗЕЙ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПЛАНА



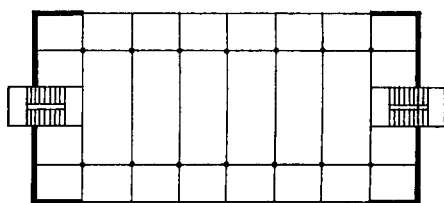
центральное ядро



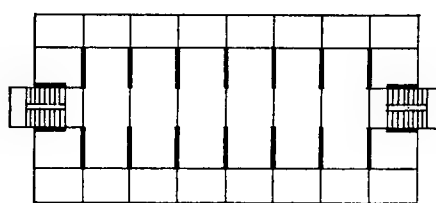
боковое ядро

Несущие элементы ветровых связей

стены циркуляционного ядра

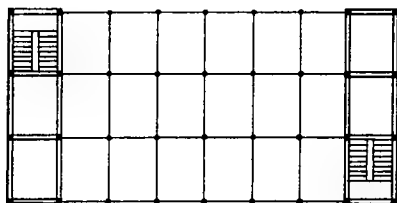


внешние стены

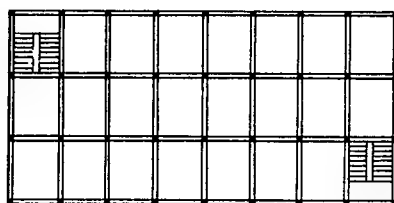


перегородки

внешние стены или перегородки

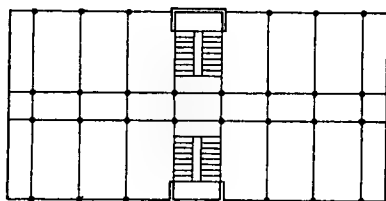


крайние рамы

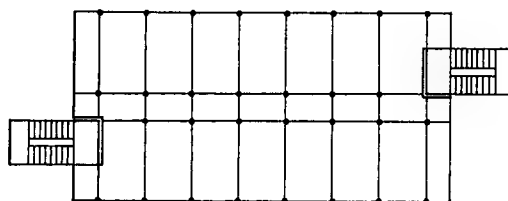


полный каркас

опоры и балки (рамы)



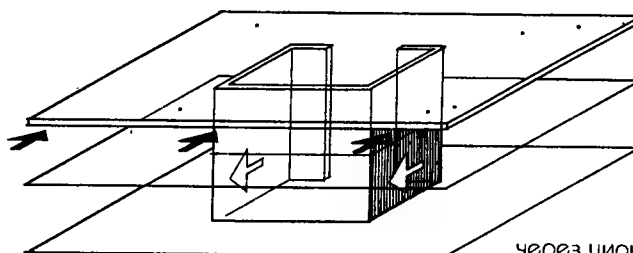
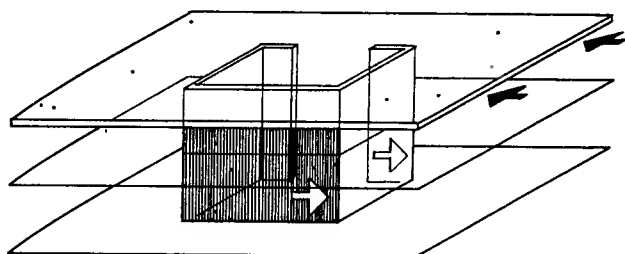
центральные лестницы



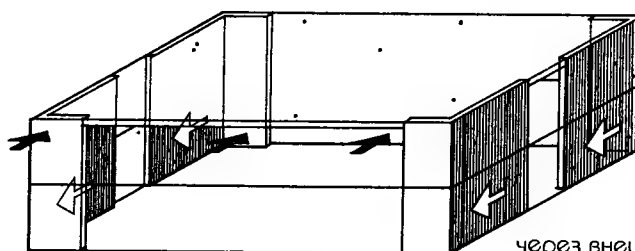
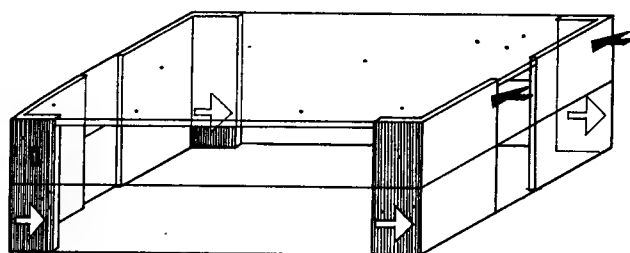
лестницы с торцов

элементы стен лестничной клетки

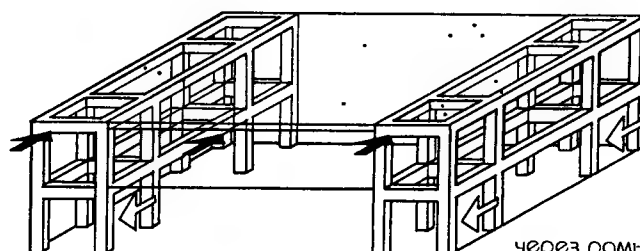
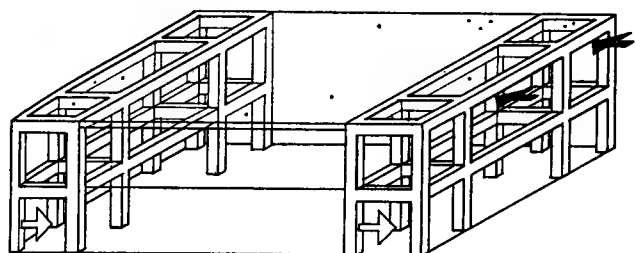
ВОСПРИЯТИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ В ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕРЕЧНОМ НАПРАВЛЕНИЯХ  
(в отношении планов, представленных на предыдущей странице)



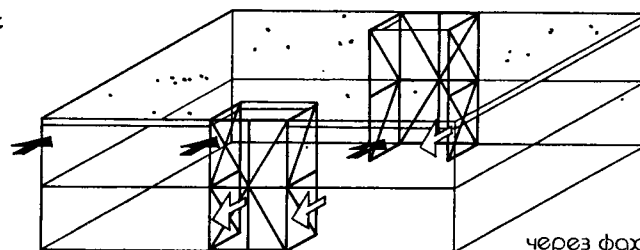
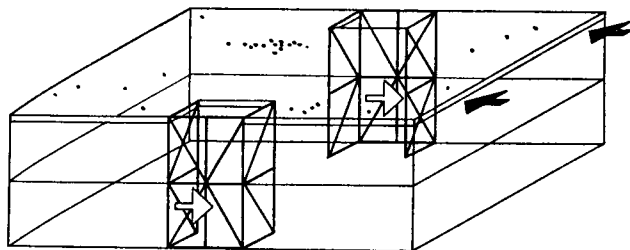
через циркуляционное  
ядро жесткости



через внешние стены



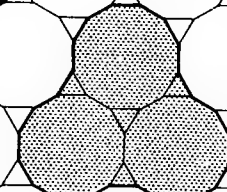
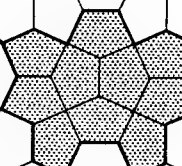
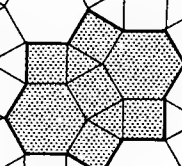
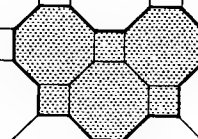
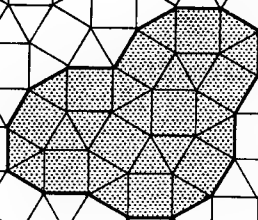
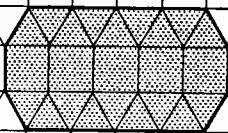
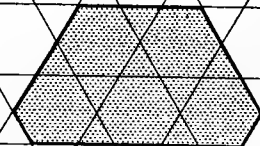
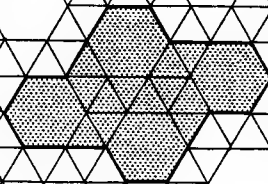
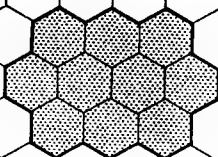
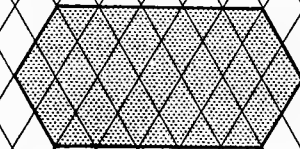
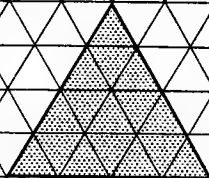
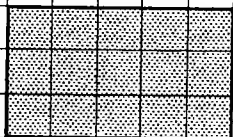
через рамы



через фахверки

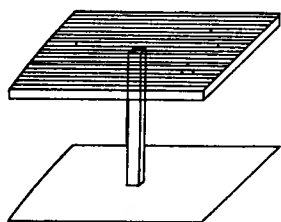
## РАСТРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАНА ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАГРУЗОК

Регулярное и наполовину регулярное деление поверхности

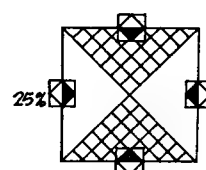
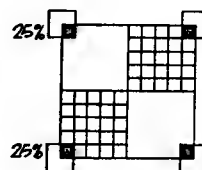
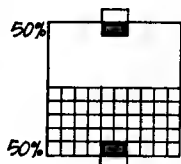
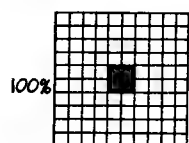
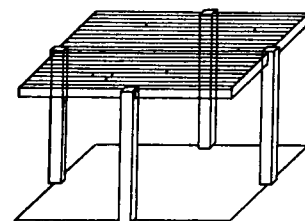
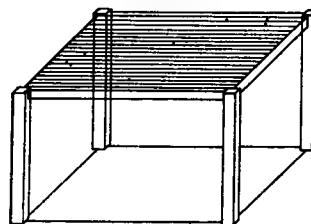
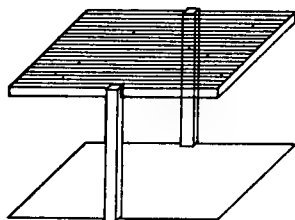




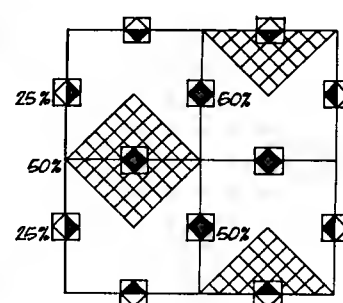
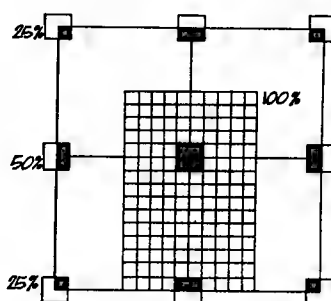
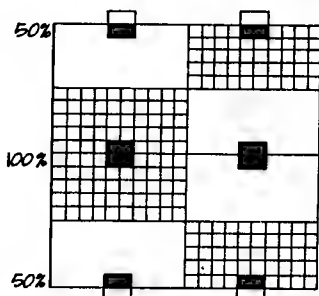
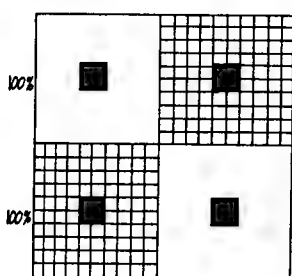
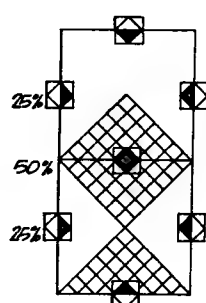
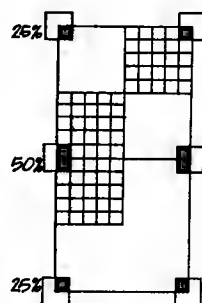
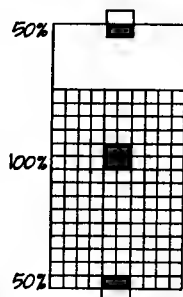
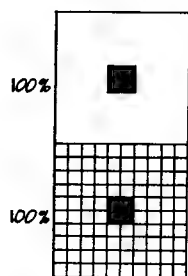
## ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА НАГРУЗКИ В РАСТРОВЫХ КВАДРАТНЫХ СИСТЕМАХ



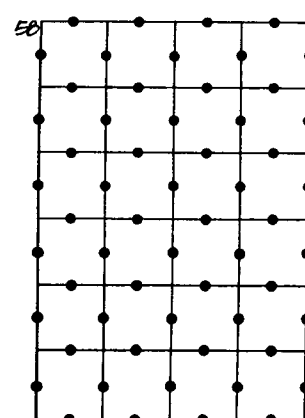
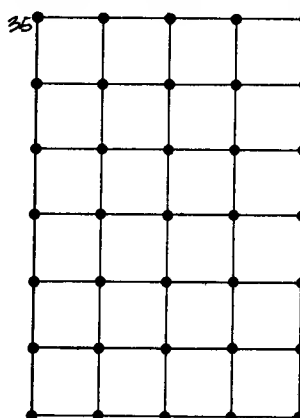
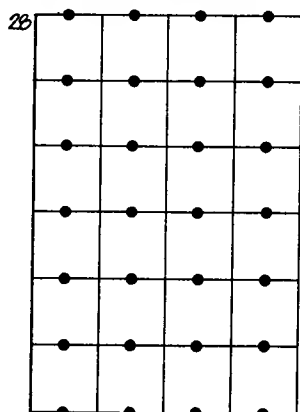
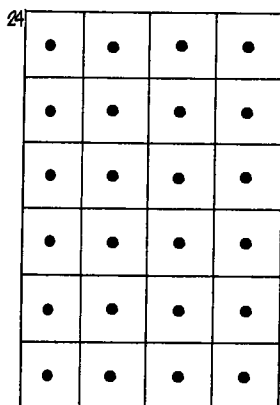
размещение узловых точек относительно раstra



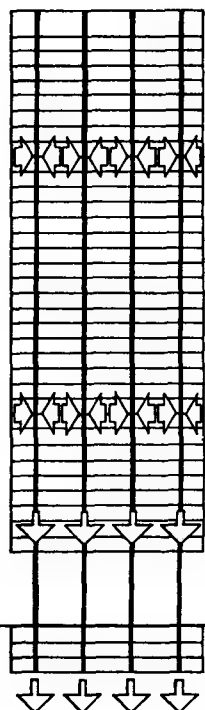
доля нагрузки планировочной ячейки на каждую узловую точку



плотность узловых точек для раstra из 24 ячеек

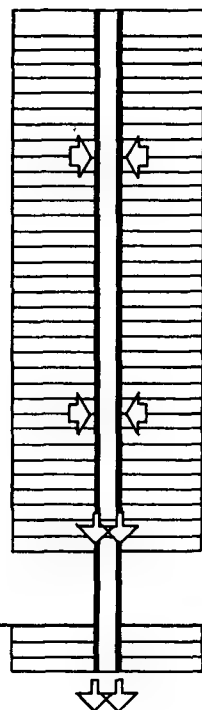
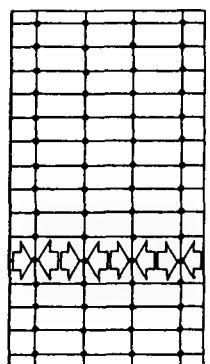
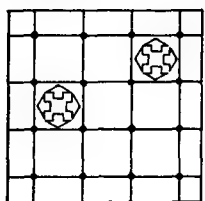


## ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗОК



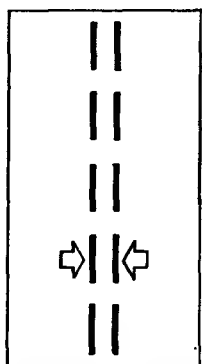
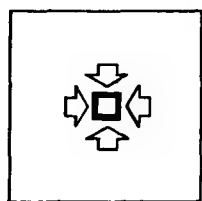
растровая система

точки концентрации нагрузки,  
распределенные равномерно

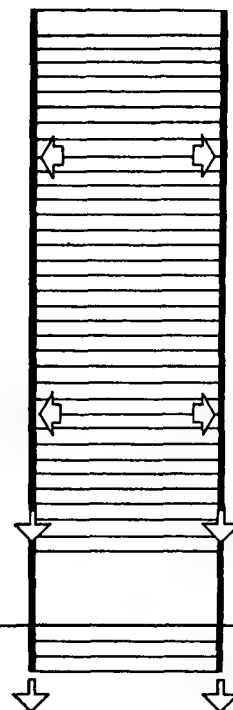


ствольная система

точки концентрации нагруз-  
ки в центре

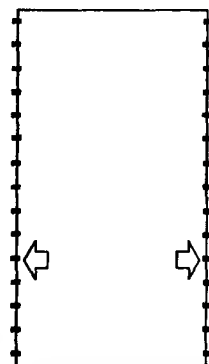
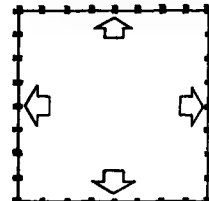


Нагрузки на каждом этаже напра-  
вляются к центру и передаются  
на грунт централизованно.



оболочковая система

точки концентрации нагруз-  
ки на внешней поверхности



Нагрузки на каждом этаже напра-  
вляются к внешней оболочке и  
передаются на грунт по периферии.

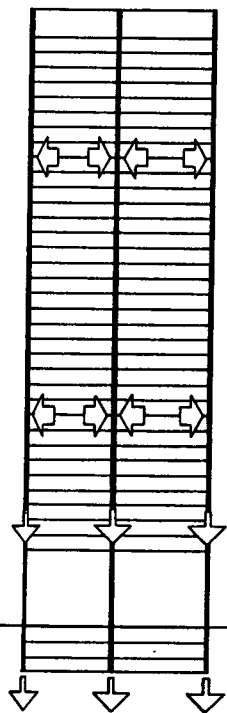
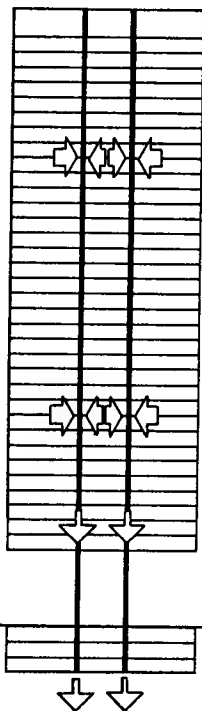
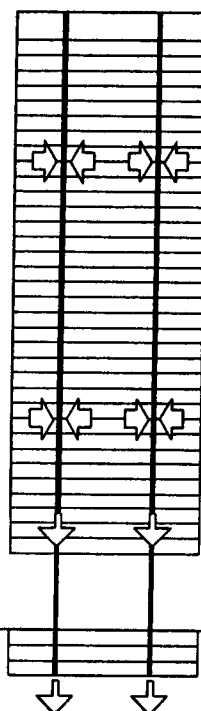
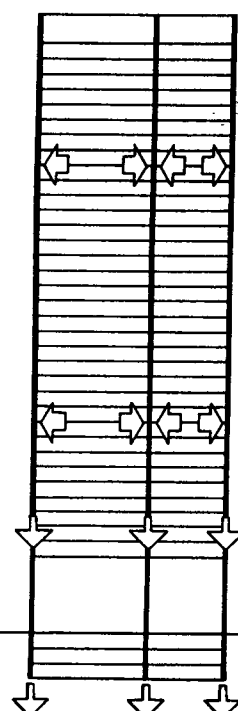
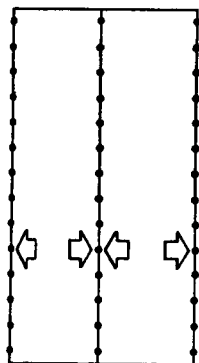
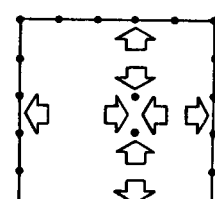
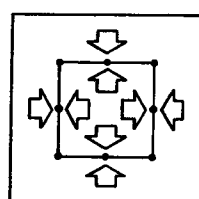
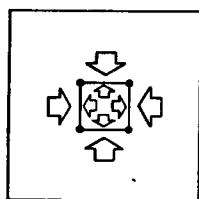
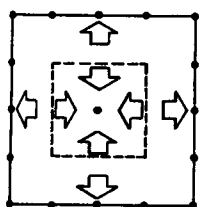
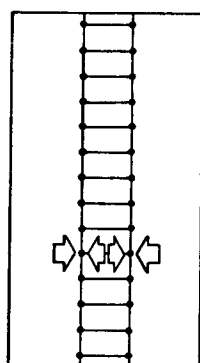
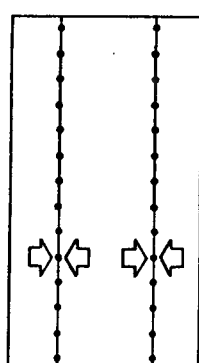
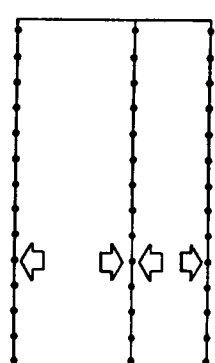
горизонтальная концен-  
трация нагрузок

форма башни  
перекрестное направле-  
ние сопротивления

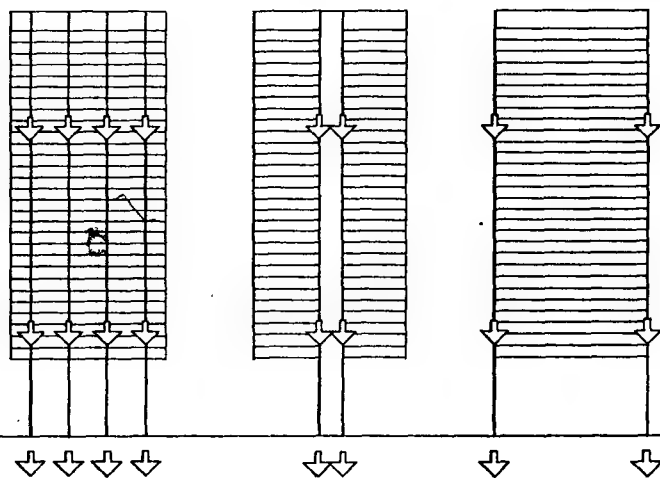
форма стенки  
одномерное направление  
сопротивления

Нагрузки каждого этажа собирают-  
ся на каждой планировочной ячейке  
и передаются по отдельности.

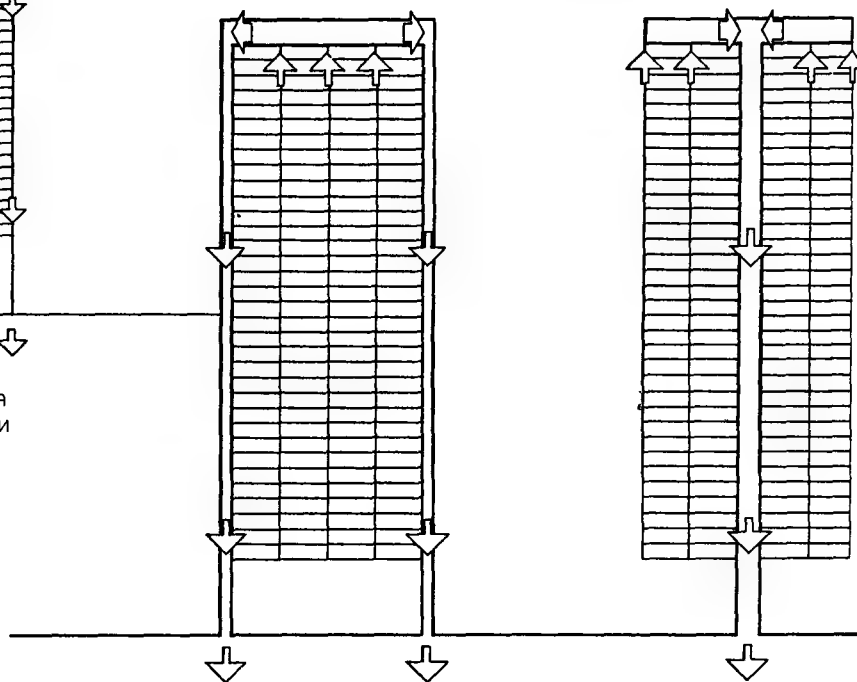
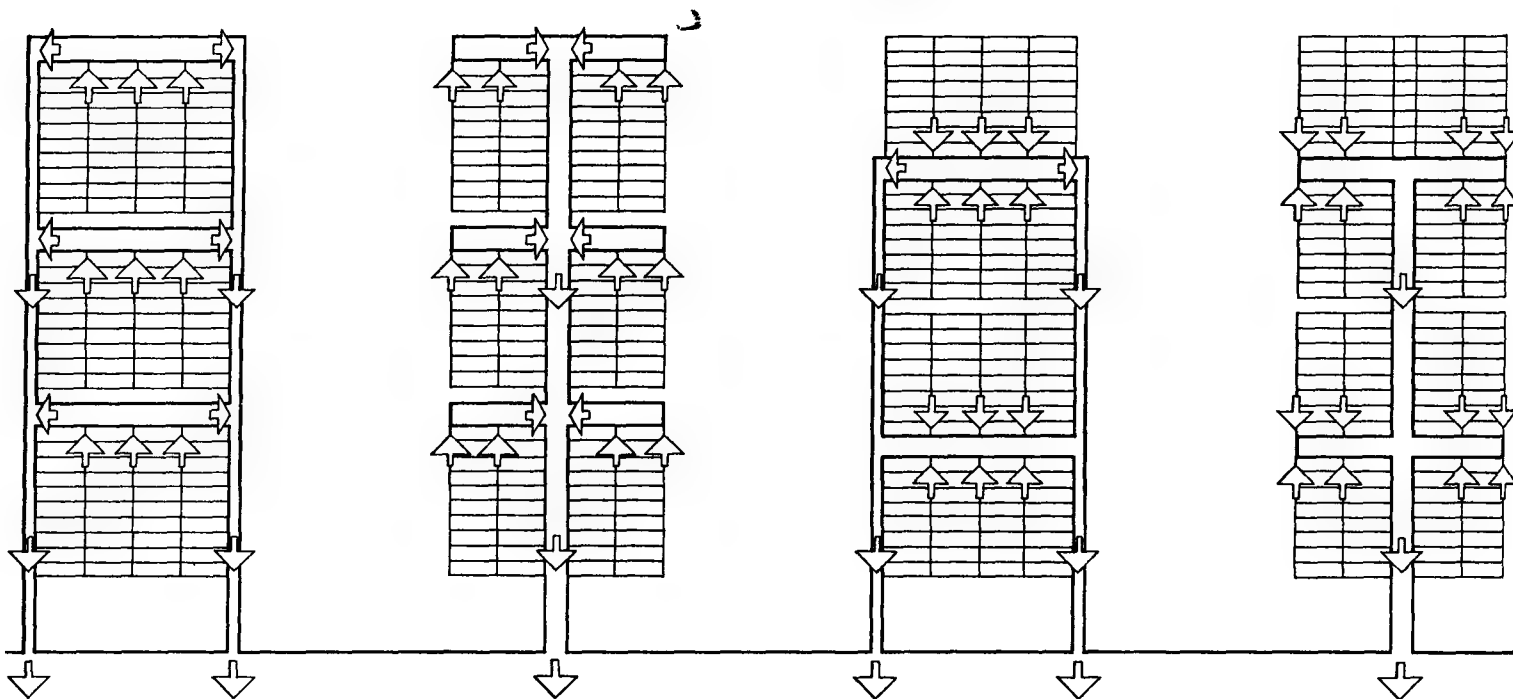
## СМЕШАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗОК

система с оболочкой  
с центральной опоройсистема с расширенным  
несущим стволомширокопролетная  
система с консолямиасимметричная  
напряженная системаНагрузки каждого этажа пере-  
даются частично по центру,  
частично по внешним стенам.Нагрузки передаются  
к центру, в точку  
центрального ядра.Нагрузки передаются к про-  
межуточным узловым точкам  
как от центра, так и с боков.Нагрузки переда-  
ются на узловые  
точки по-разному.

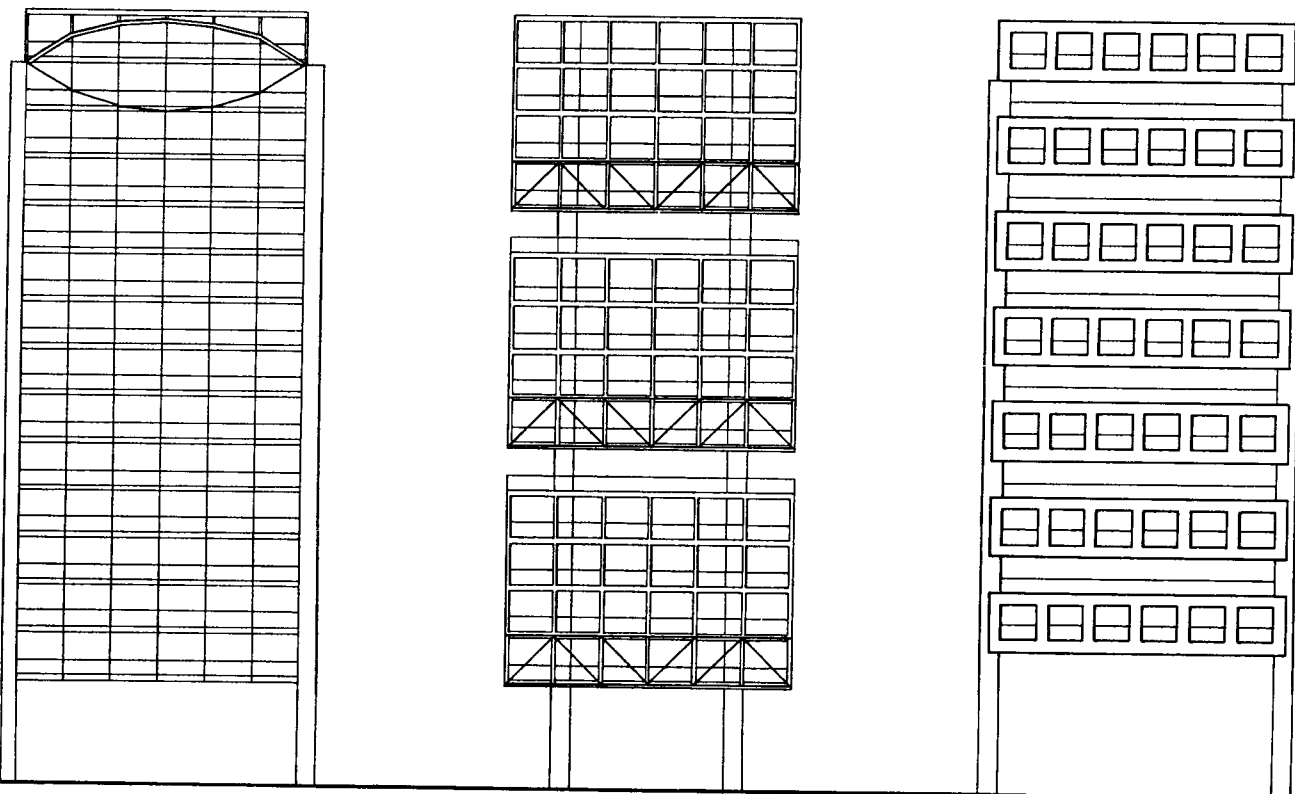
# СИСТЕМЫ КОСВЕННОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗОК ПРИ РАСТРОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

концентрация  
на растреконцентрация  
в центреконцентрация  
на периферии

Вместо того чтобы направлять поэтажно сконцентрированные над опорами нагрузки непосредственно на фундамент, их могут направить через ванты вверх, где поперечная балка, расположенная выше, передаст нагрузки на центральные или периферийные пилоны.

прямая передача  
нагрузкикосвенная передача  
нагрузки с помощью вантнеразрезные навесные  
системысистемы навешивания этажей на промежуточные балки  
по группамсистемы раздельного навешивания и опирания групп  
этажей

## СИСТЕМЫ, ПОЛНОСТЬЮ УДЕРЖИВАЮЩИЕ ЭТАЖ В МОСТОВЫХ ВЫСОТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ



несущие элементы междуэтажных перекрытий, активные по форме

несущая арка / подвесная ванта с навесными этажами

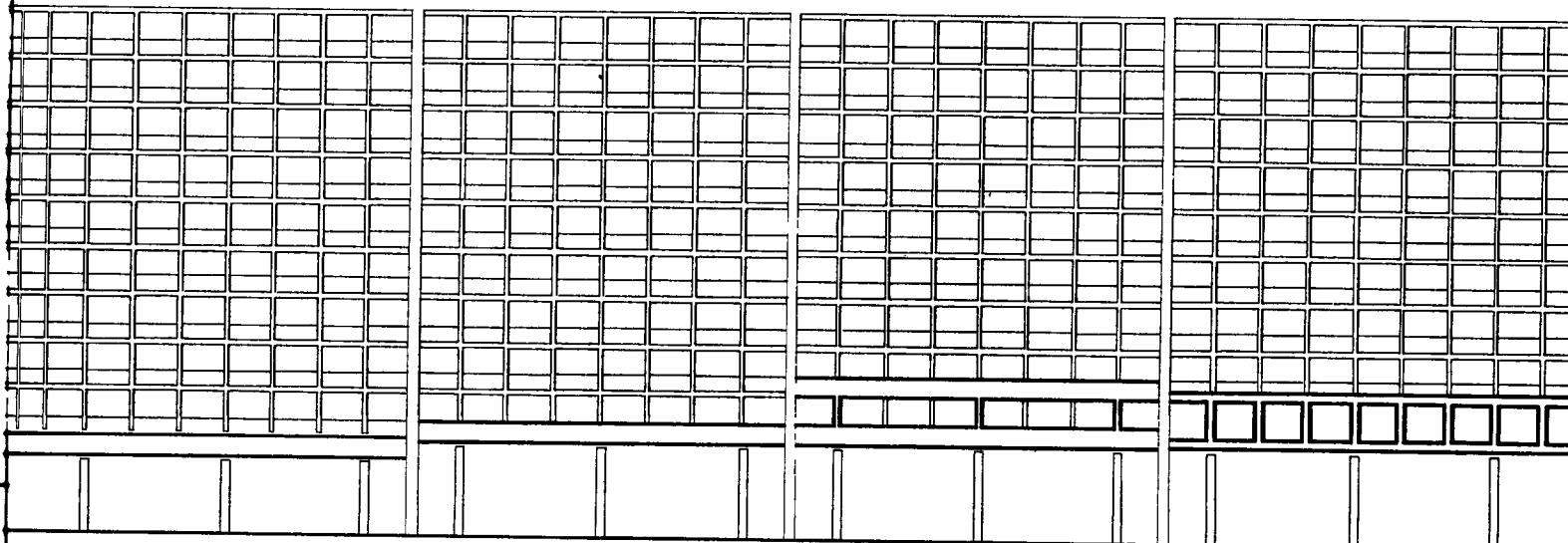
несущие элементы междуэтажных перекрытий, активные по вектору

ферма с установленными группами этажей

несущие элементы, активные по сечению

несущие элементы в виде многопанельных рам с промежуточными этажами без опор

## СИСТЕМА ОПОРНЫХ БАЛОК НАД ПЕРВЫМ ЭТАЖОМ



трапециевидная балка

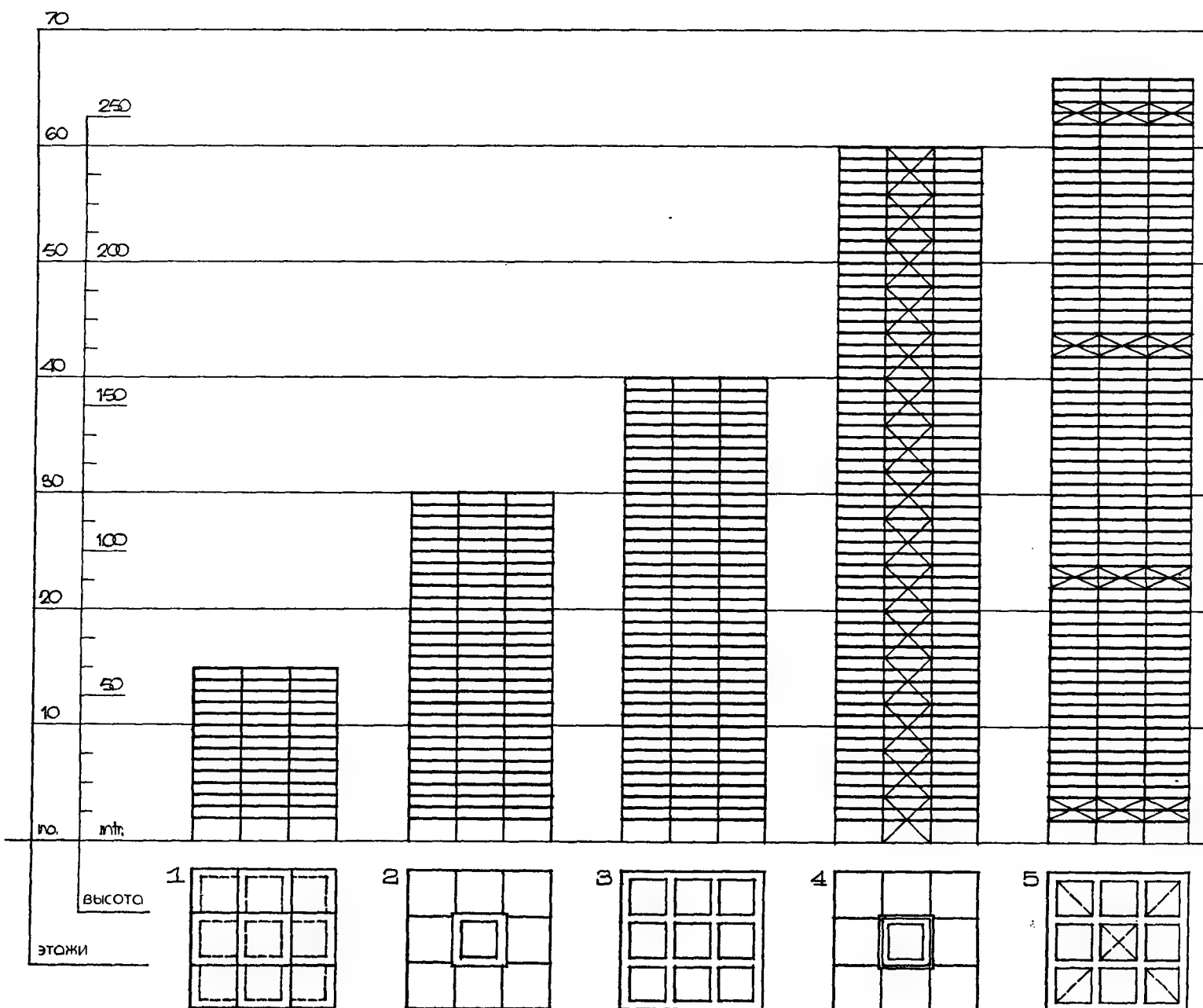
балки для опоры стены в подоконной части

балки в подоконной части в двух этажах

многопролетная рама

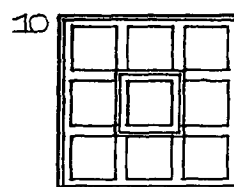
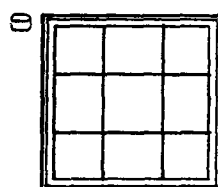
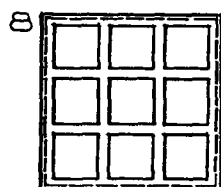
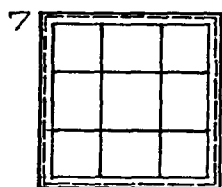
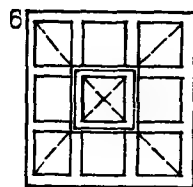
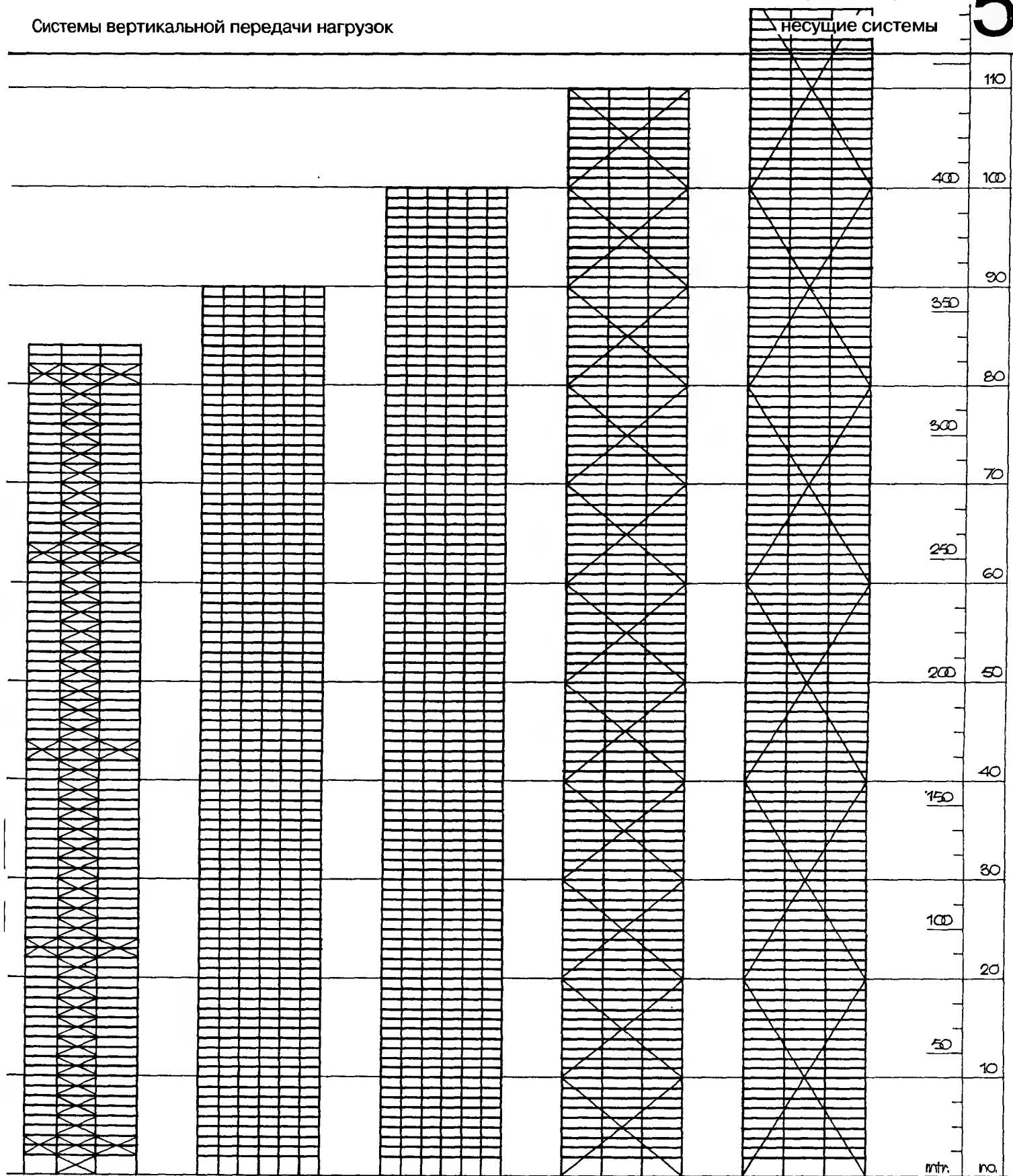
## СТАНДАРТНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ВЫСОТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛИ

1. Установленные рамы / Частичное повышение жесткости рамного раstra
2. Рамное ядро со стойками каркаса
3. Нерезной рамный растр / Полный рамный каркас
4. Фахверковое или стеновое ядро со стойками каркаса
5. Полный рамный каркас с дополнительной жесткостью на отдельных этажах
6. Фахверковое или стеновое ядро с рамным каркасом и с дополнительной жесткостью на отдельных этажах
7. Уплотненная рамная оболочка с полным каркасом
8. Уплотненная рамная оболочка с рамным каркасом
9. Фахверковая оболочка с полным каркасом
10. Фахверковая оболочка с фахверковым или стеновым ядром жесткости и рамным каркасом



Системы вертикальной передачи нагрузок

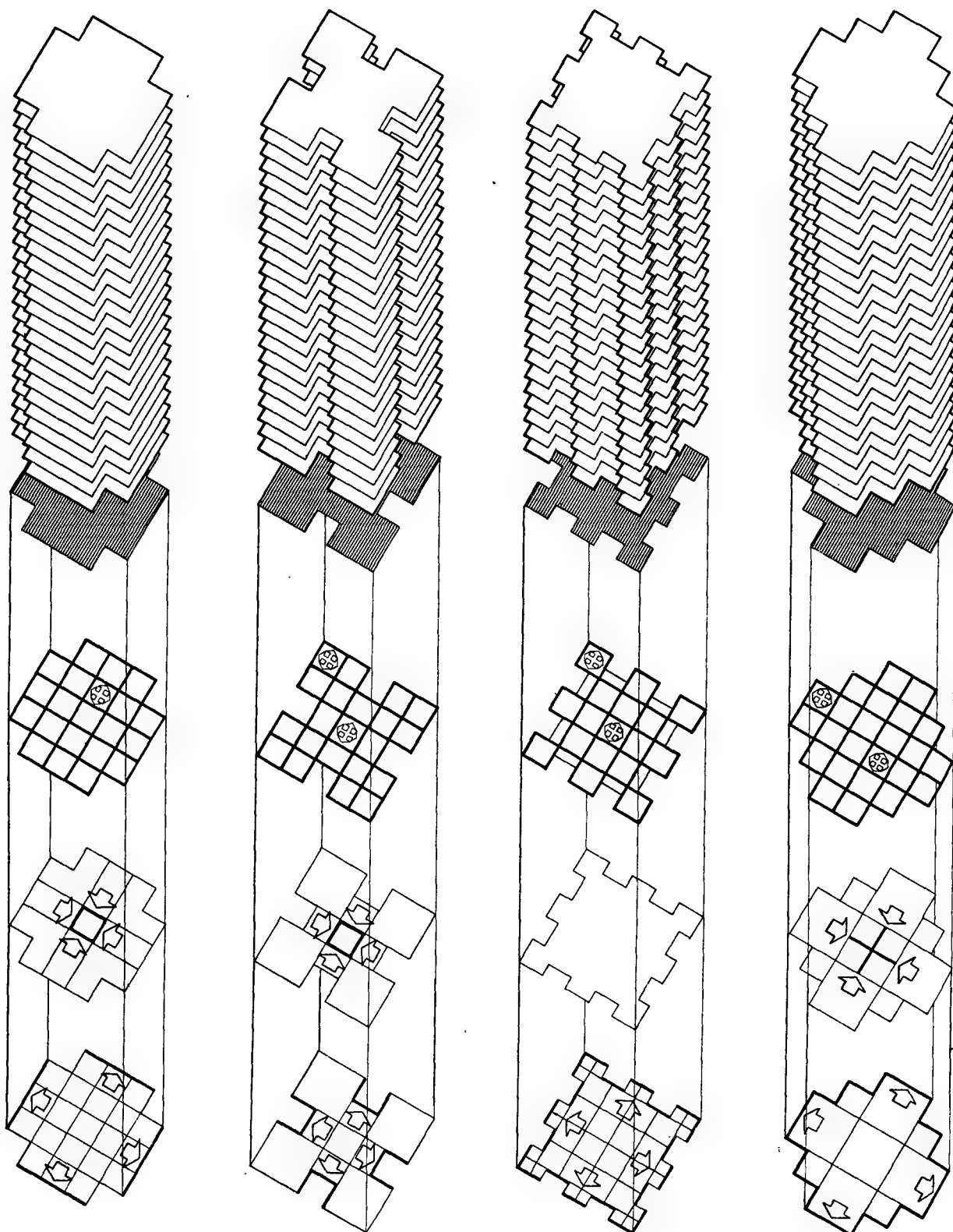
несущие системы



высота

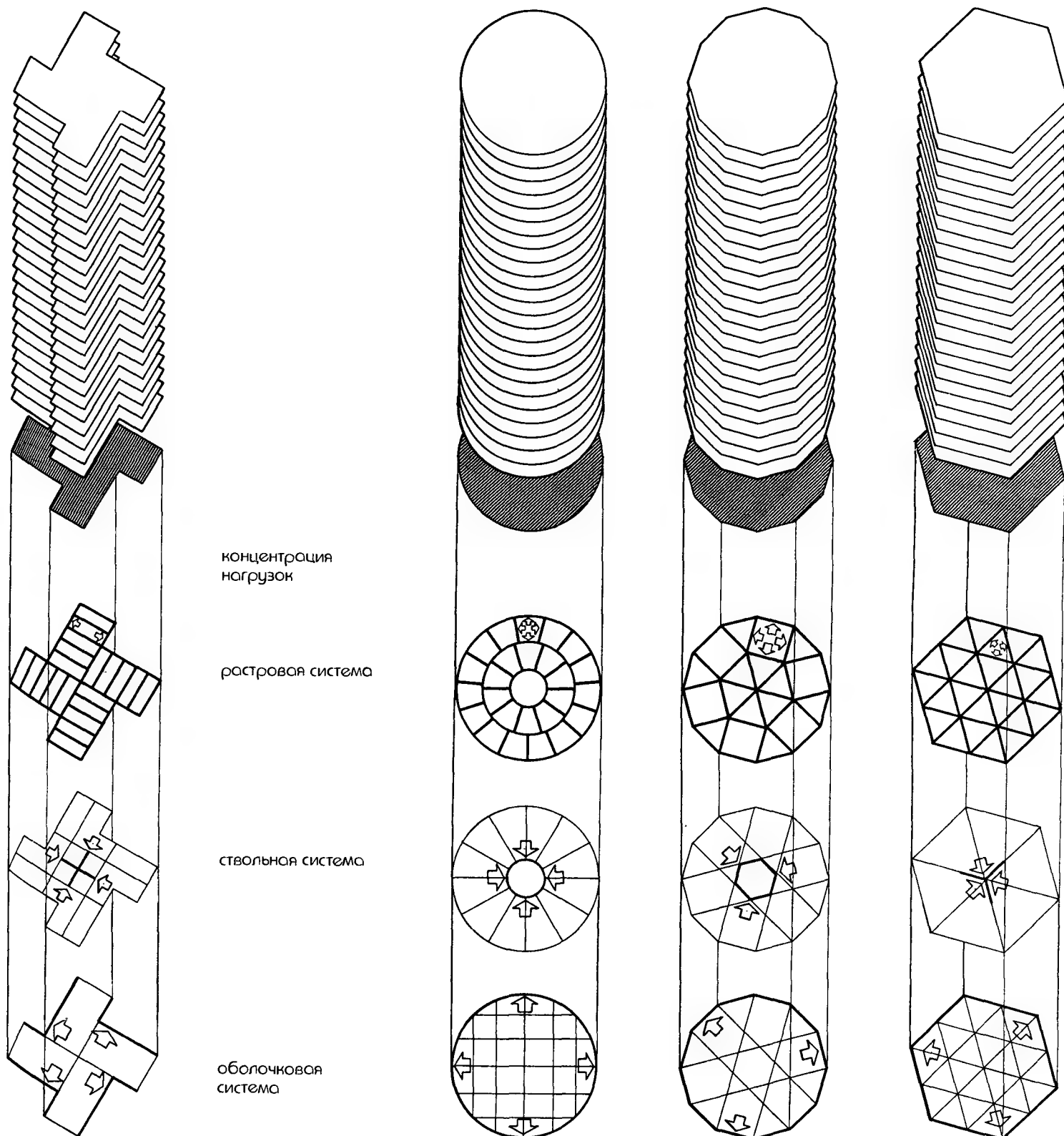
этажи

## ТИПИЧНЫЕ ФОРМЫ БАШЕН, ПОСТРОЕННЫХ НА КВАДРАТНОМ ПЛАНЕ

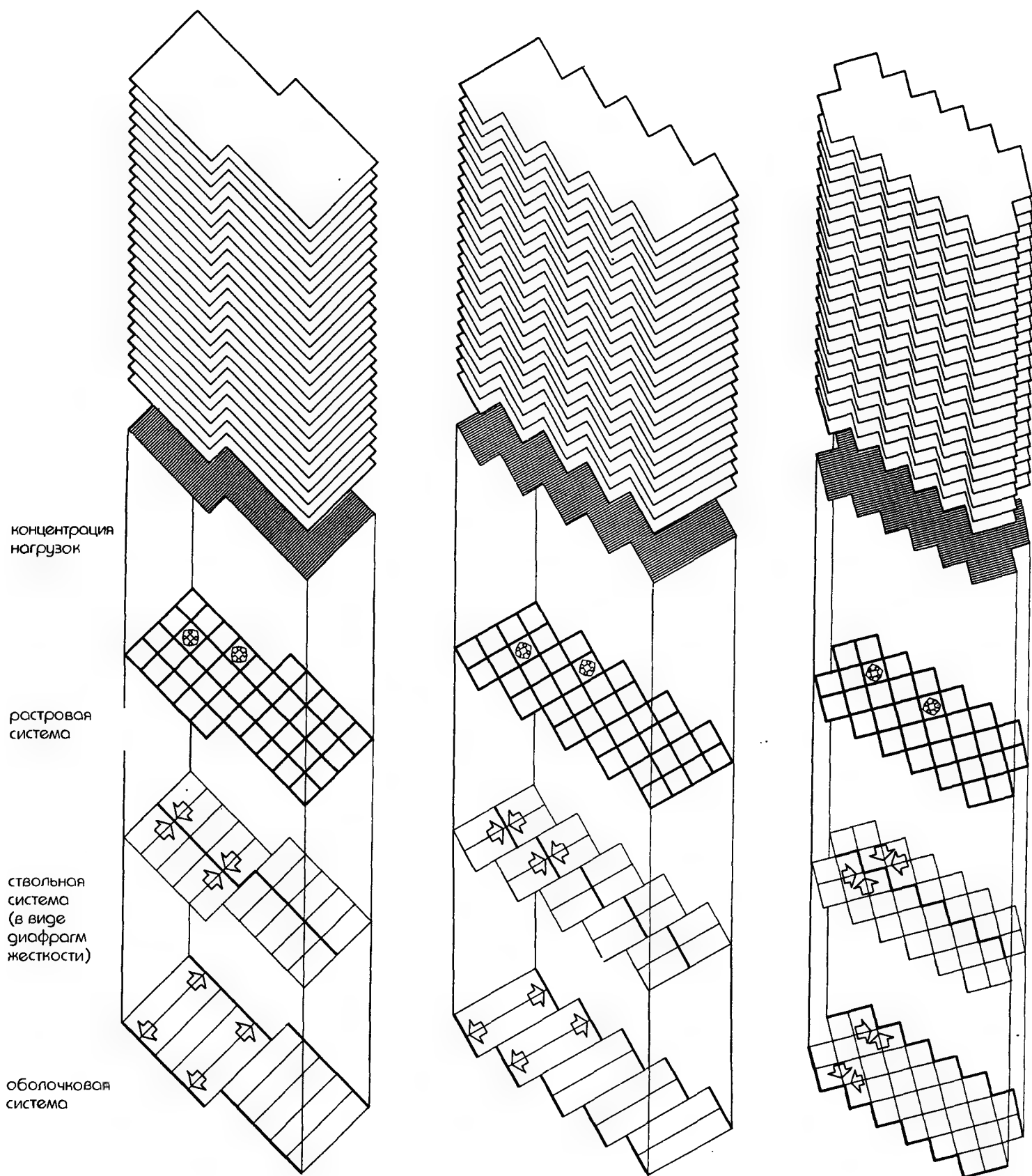




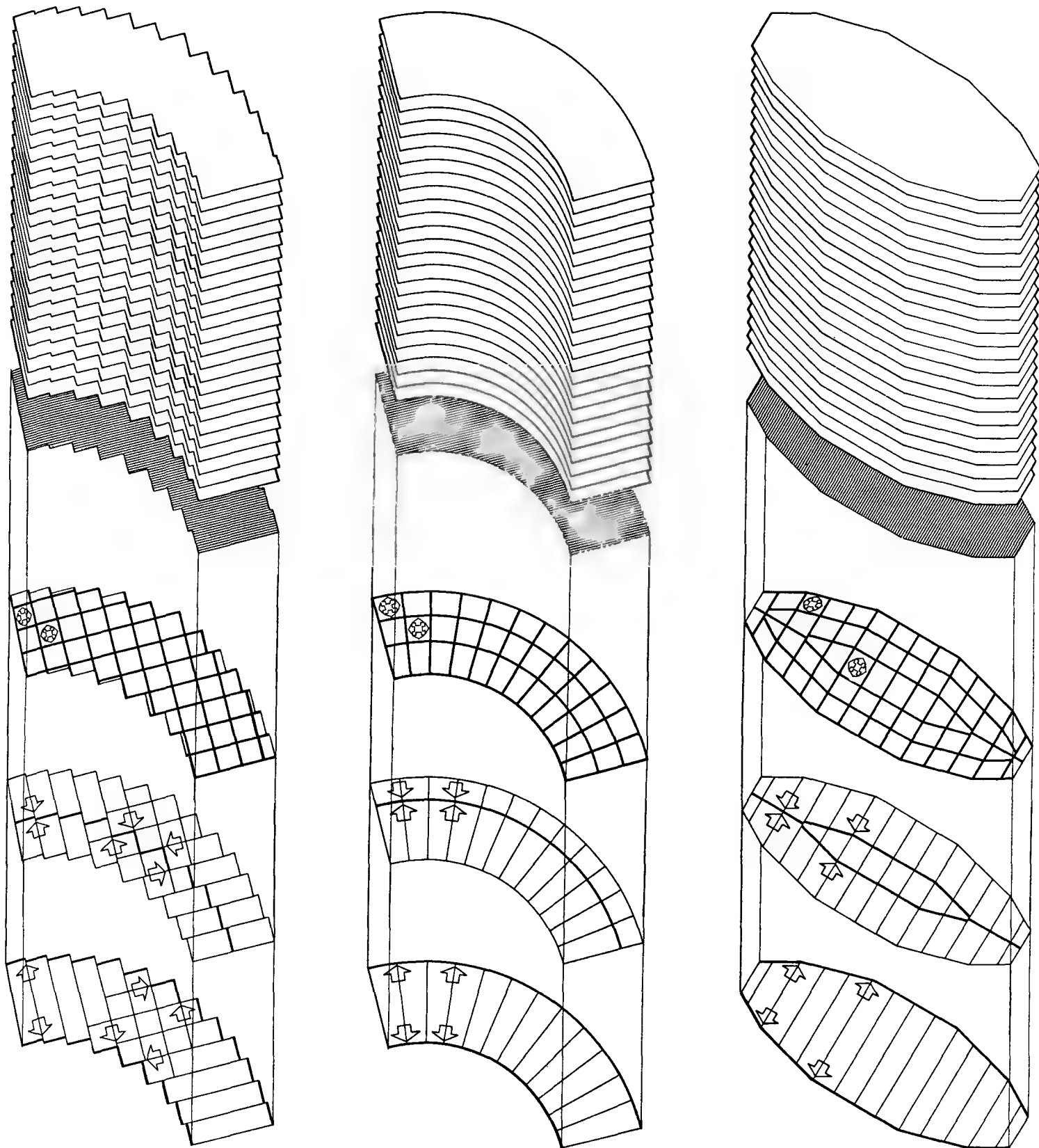
## ФОРМЫ БАШЕН, ПОСТРОЕННЫХ НА КРУГЛОМ ПЛАНЕ



## ТИПИЧНЫЕ ФОРМЫ ЗДАНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ

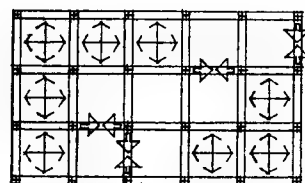
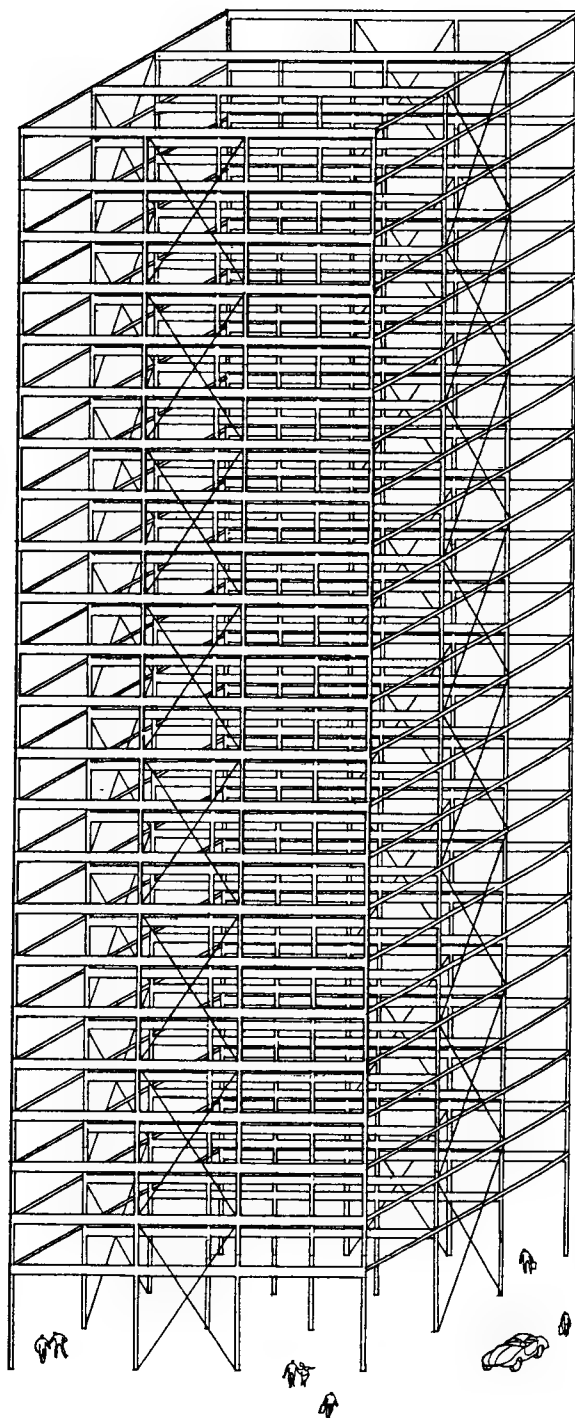
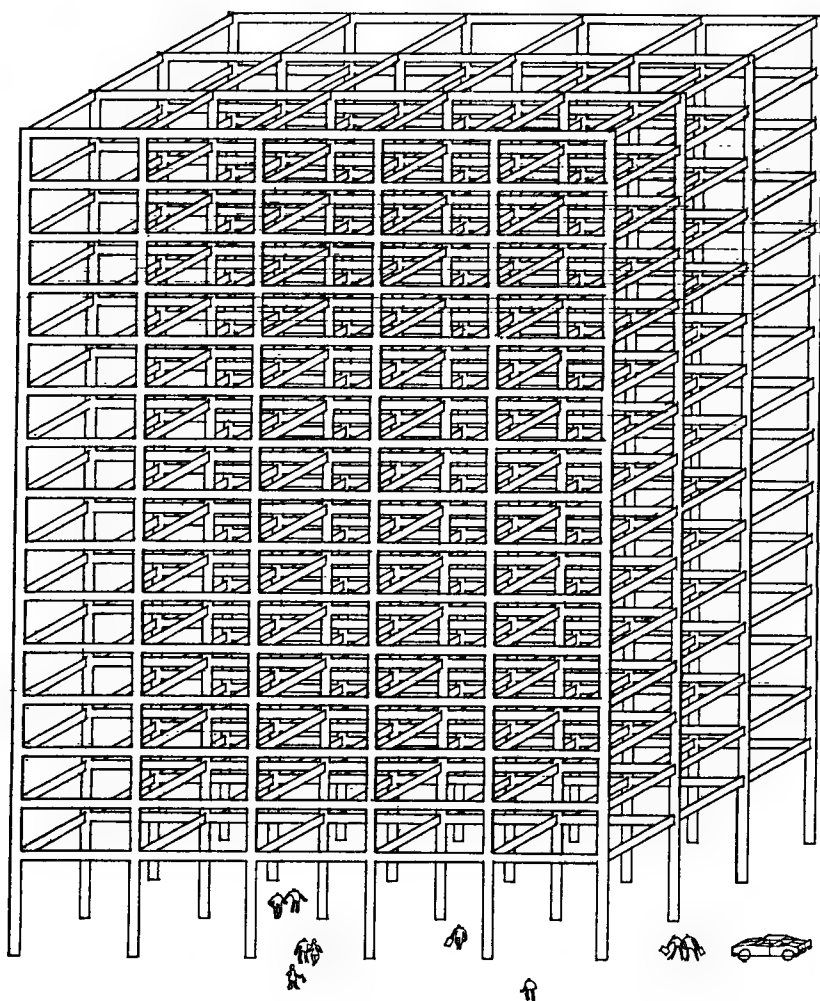
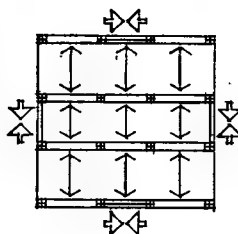


## ЗДАНИЯ, ПОСТРОЕННЫЕ НА ПЛАНЕ ИЗОГНУТОЙ ФОРМЫ



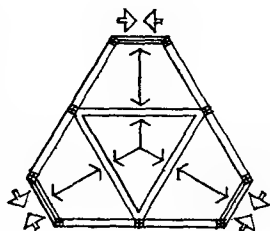
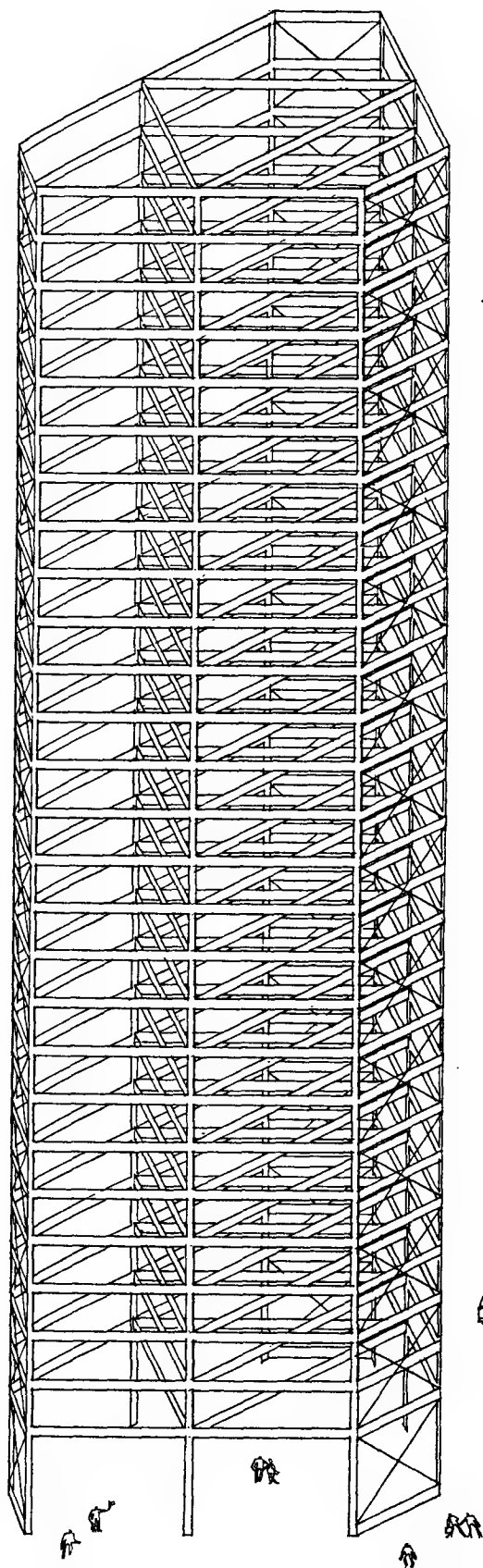
## РАСТРОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Стойка каркаса с  
элементами жесткости  
в двух направлениях

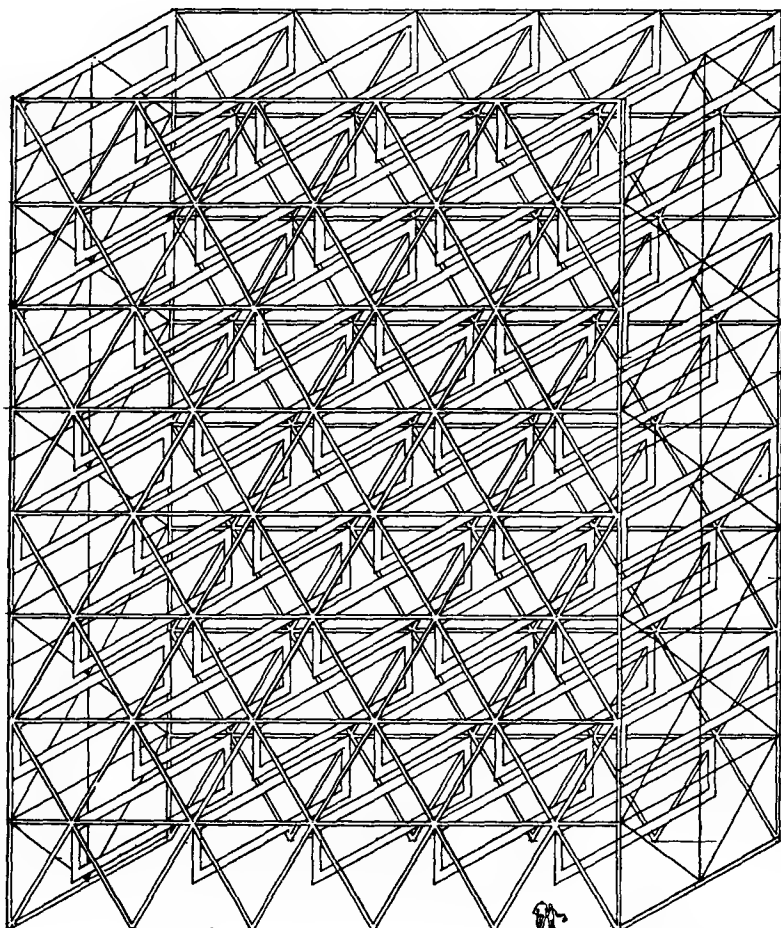


Полный ромный  
каркас

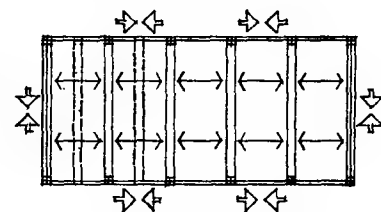
## ОБОЛОЧКОВЫЕ ВЫСОТЫЕ СООРУЖЕНИЯ

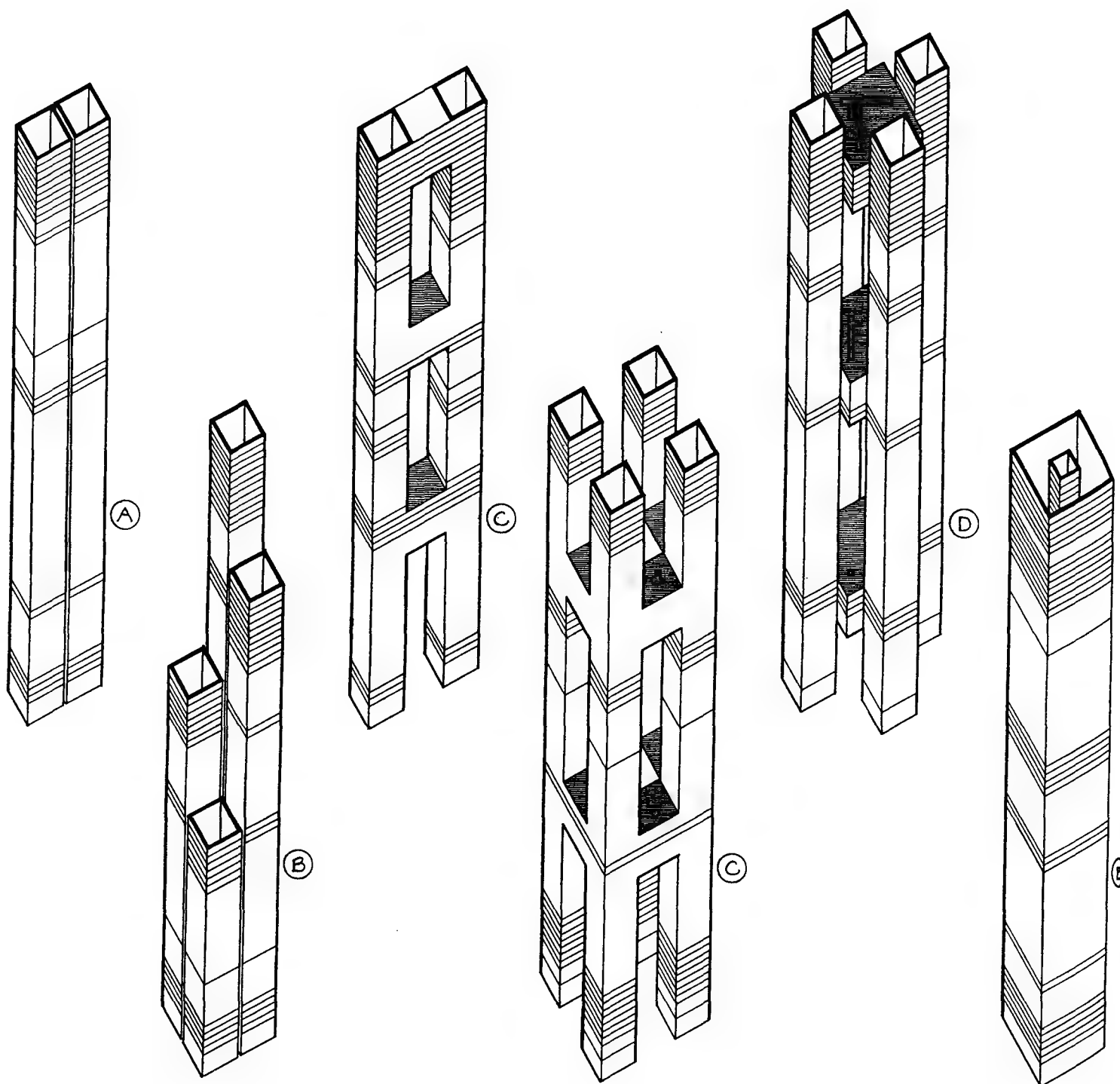


Стойчатая оболочка  
с отдельными элементами  
жесткости и диагональными  
балками перекрытий



Фахверковая оболочка  
с поперечными элементами  
жесткости в торцевых сте-  
нах и навесными рамами





РАЗВИТИЕ НА ОСНОВЕ ТРУБ С ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ

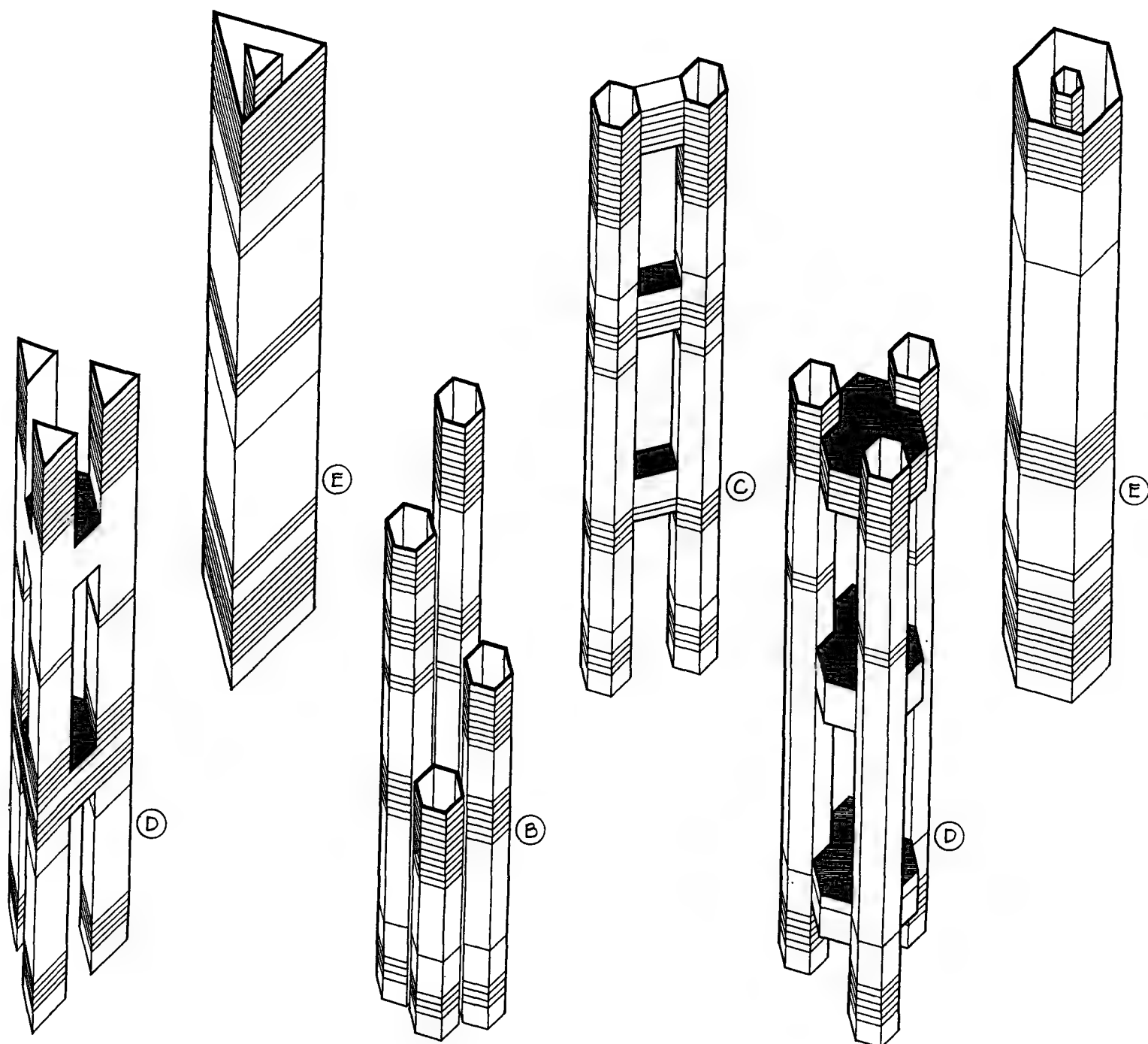
Несущая система ТРУБЫ как оптимальная структурная форма вертикального элемента жесткости высотных сооружений подходит в качестве модуля для развития более сложных систем жесткости с несущим механизмом, который существенно превосходит потенциал отдельных труб. Существует три стандартных комбинации:

1. Прямое примыкание стены к стене = (А) (В) многоствольная трубчатость.
2. Непрямое соединение с помощью мостовых элементов = (С) (D) трубчатые рамы.
3. Короба, вставленные один в другой = (Е) многослойная трубчатость.

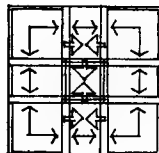
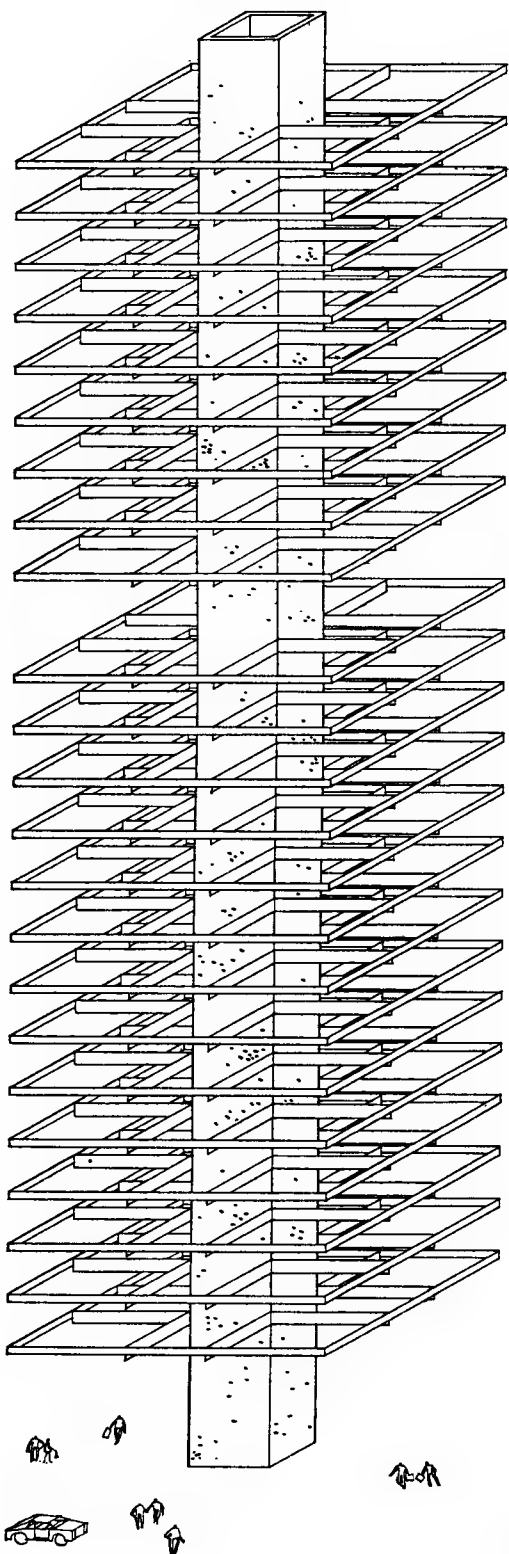
## КОМБИНАЦИИ ТРУБЧАТЫХ МОДУЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ

- Ⓐ сдвоенные трубы
- Ⓑ пучок труб
- Ⓒ трубчатые рамы
- Ⓓ трубчатый портик
- Ⓔ трубы с двойной оболочкой

РАЗРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ТРЕХГРАННЫХ И ШЕСТИГРАННЫХ  
ТРУБ

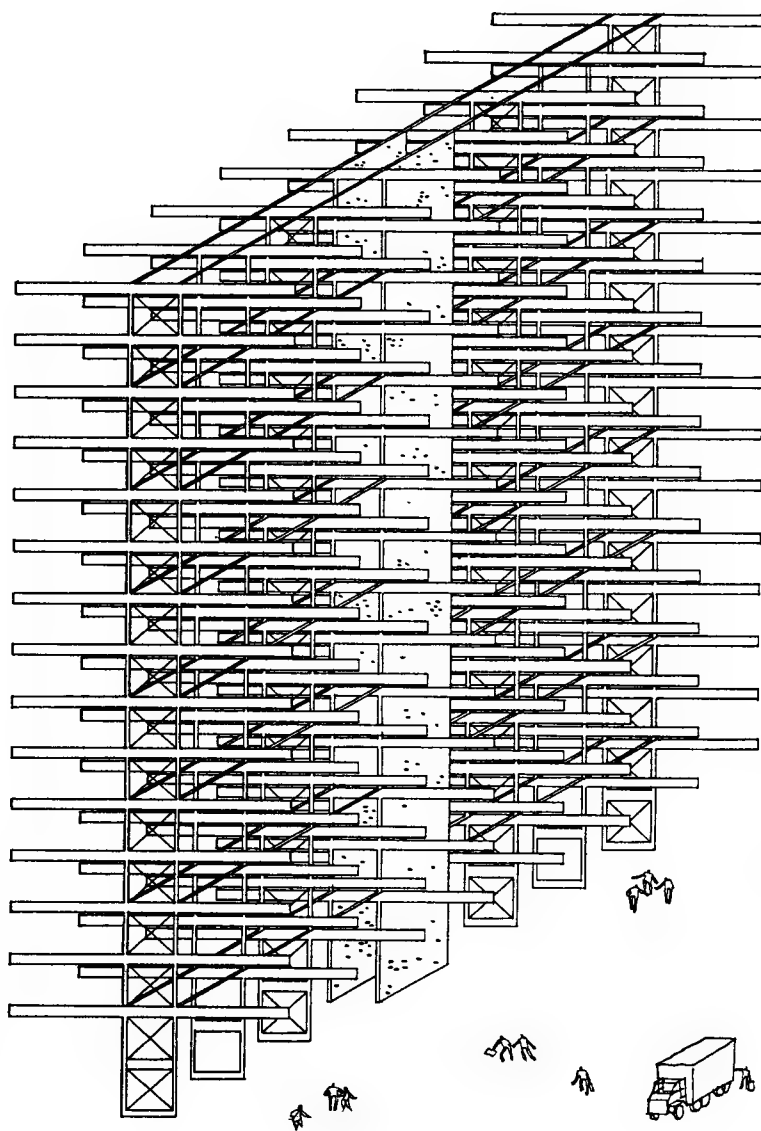
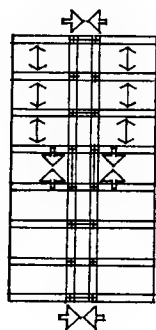


## СТВОЛЬНЫЕ ВЫСОТЫЕ СООРУЖЕНИЯ



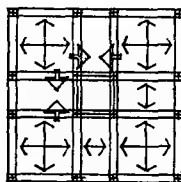
Стабилизированное  
точечное ядро-ствол  
с перекрытиями в виде  
консоль и рандбалок

Стабилизированное  
осевое ядро из стоек  
каркаса с перекрытием  
в виде консолей

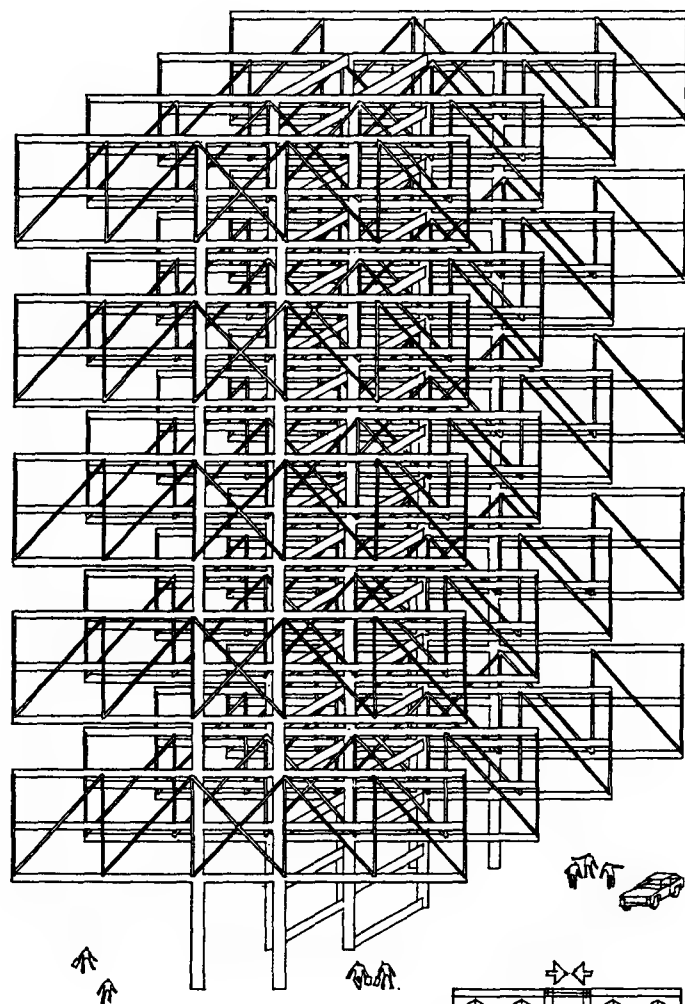
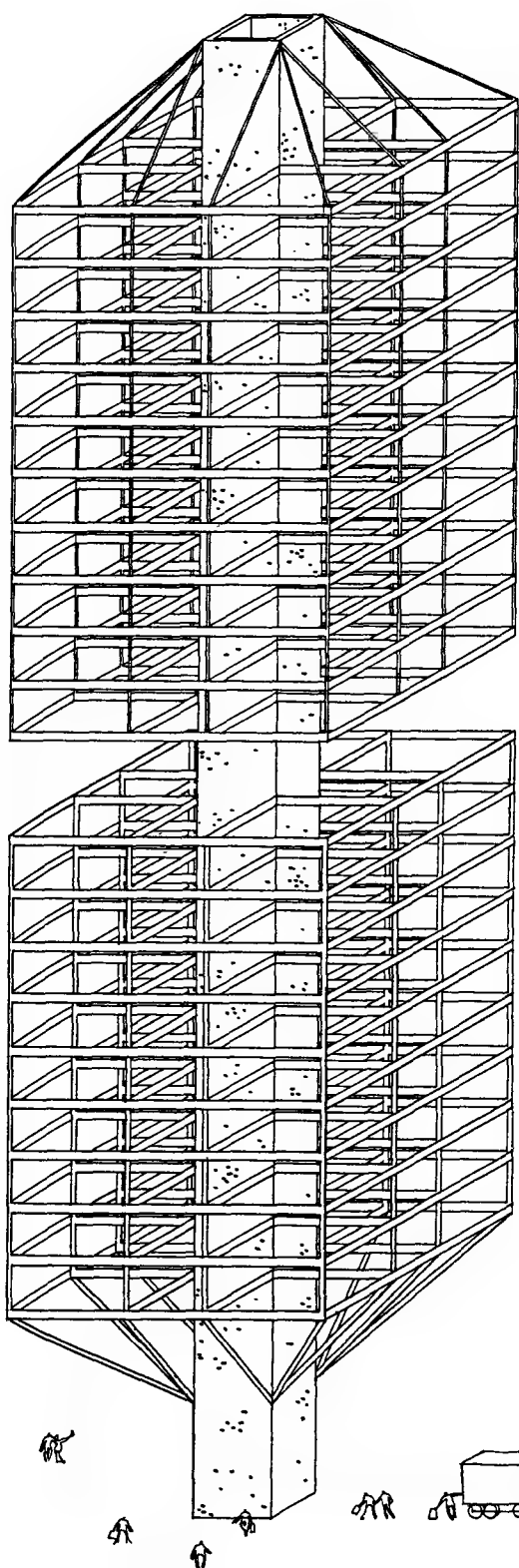




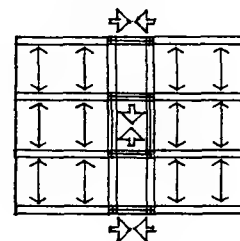
## СТВОЛЬНЫЕ ВЫСОТЫЕ СООРУЖЕНИЯ



Косвенно нагруженное  
стабилизированное точеч-  
ное ядро с подвешивани-  
ем и установкой этажей

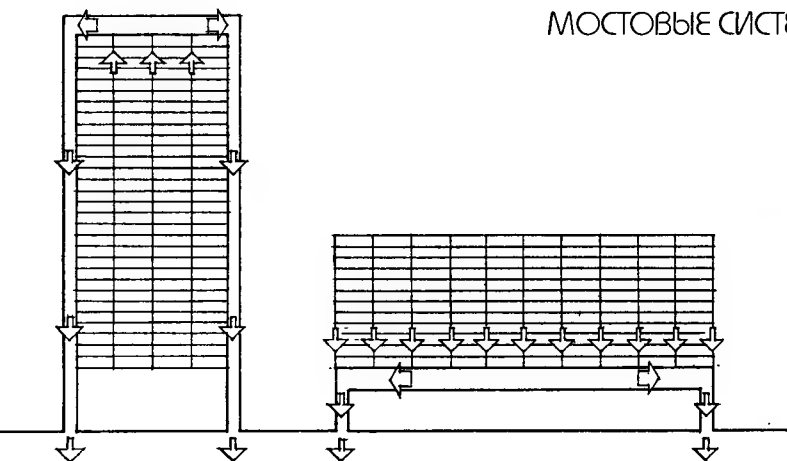


Стабилизированное  
осевое ядро с много-  
этажным консольным  
фахверком

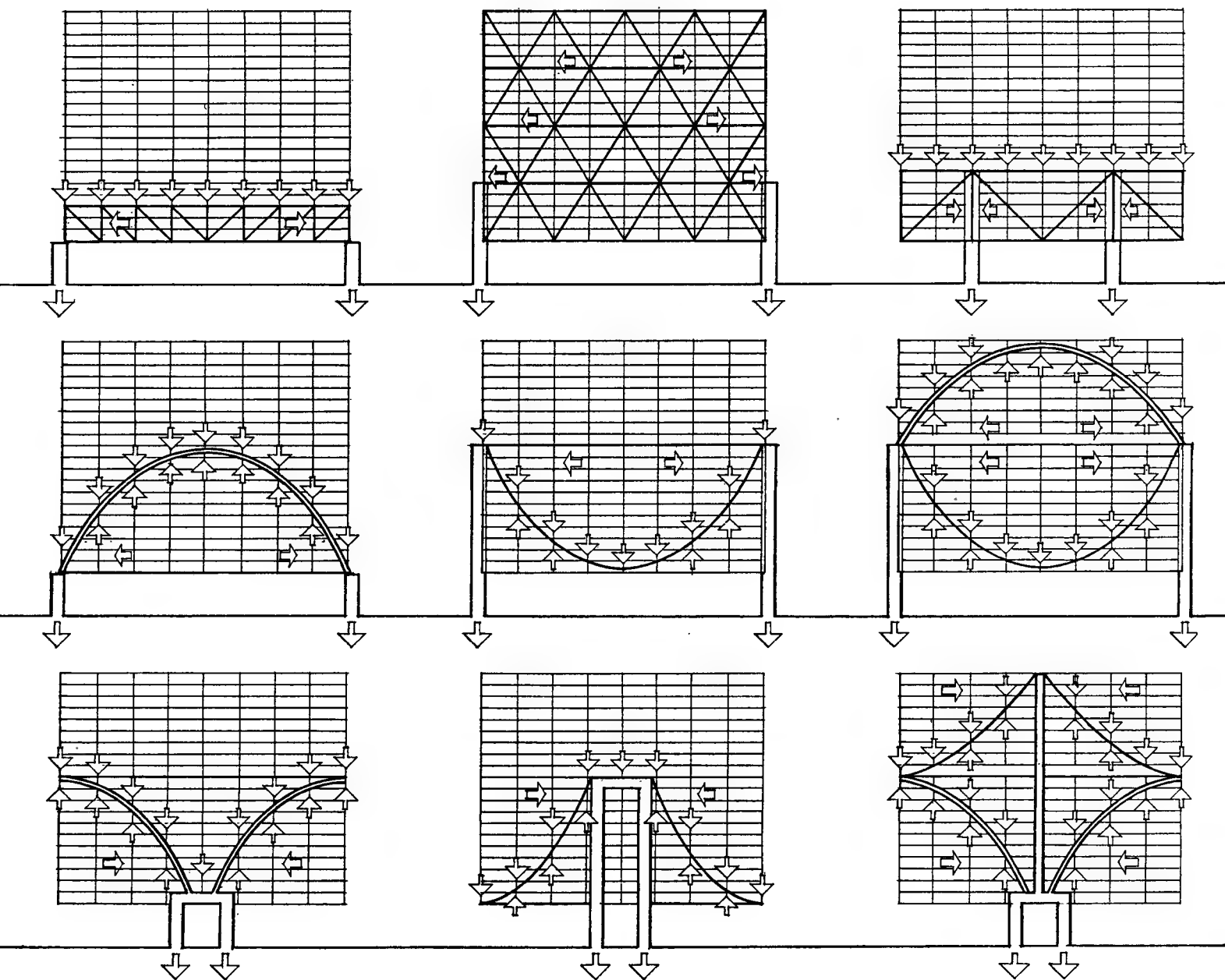


## МОСТОВЫЕ СИСТЕМЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ, АКТИВНЫХ ПО ВЫСОТЕ

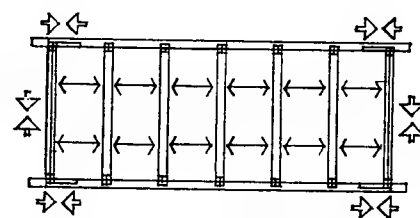
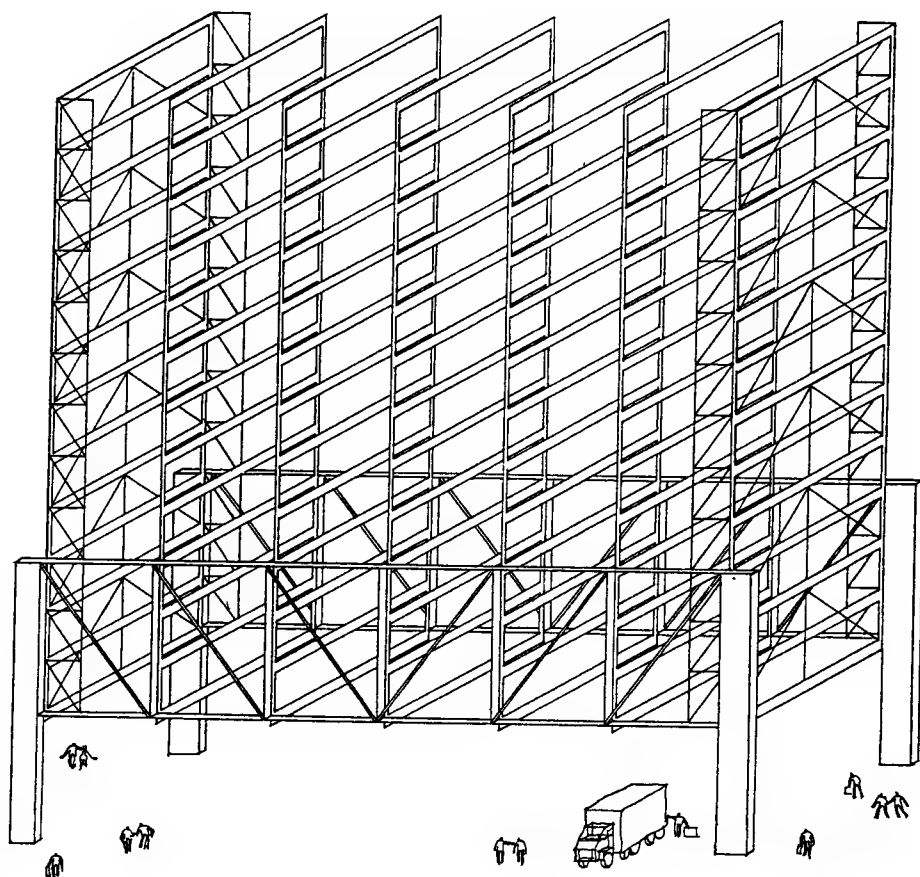
Системы не прямой вертикальной передачи нагрузок



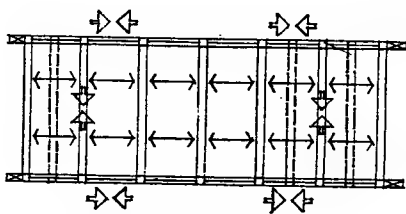
В системе с не прямой вертикальной передачей нагрузки необходима, как правило, расположенная выше отдельная несущая система. Эта система воспринимает всю нагрузку с отдельно стоящего несущего сооружения, активного по высоте, и отводит ее (с целью сохранения свободной поверхности пола), подобно мосту, через большие пролеты на несколько пилонов = МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.



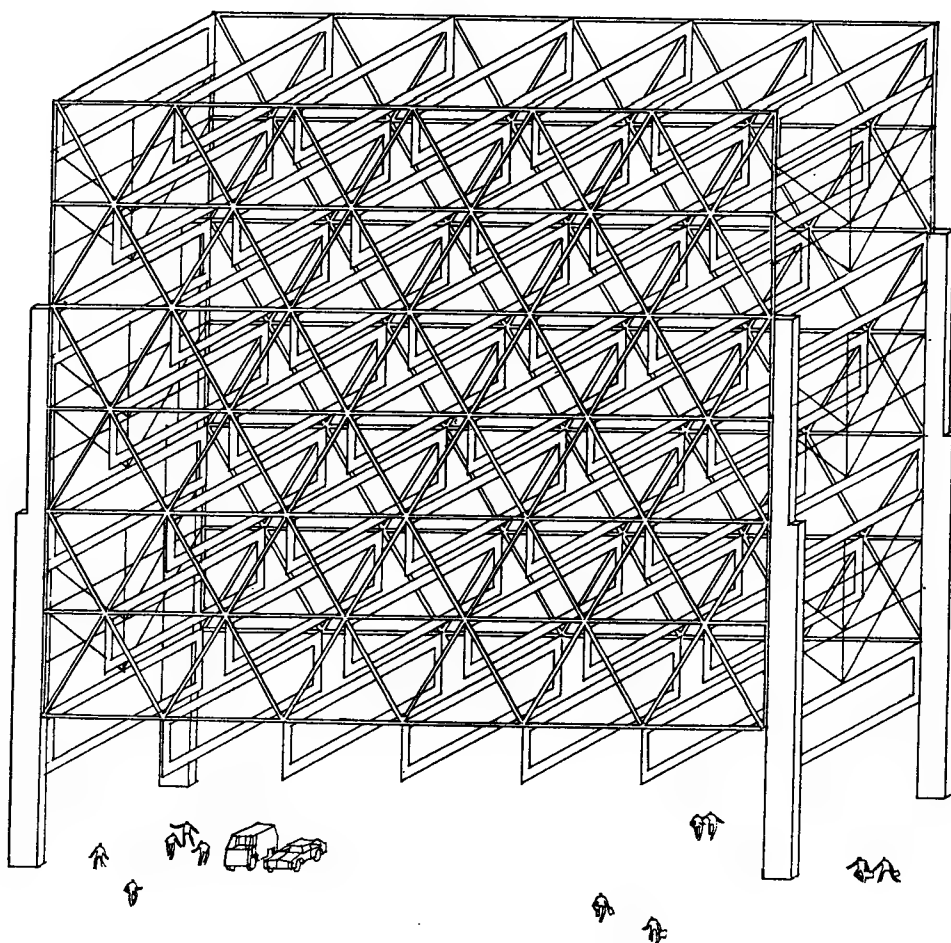
## МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

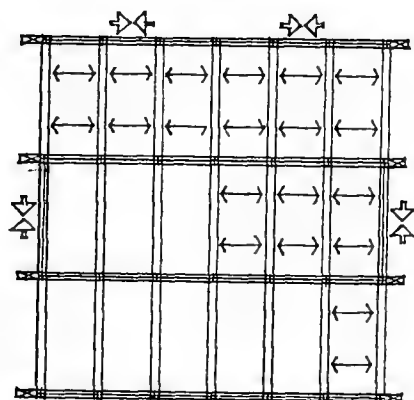


Трехъярусный мост с общей установкой = оболочковая система с отдельными элементами жесткости



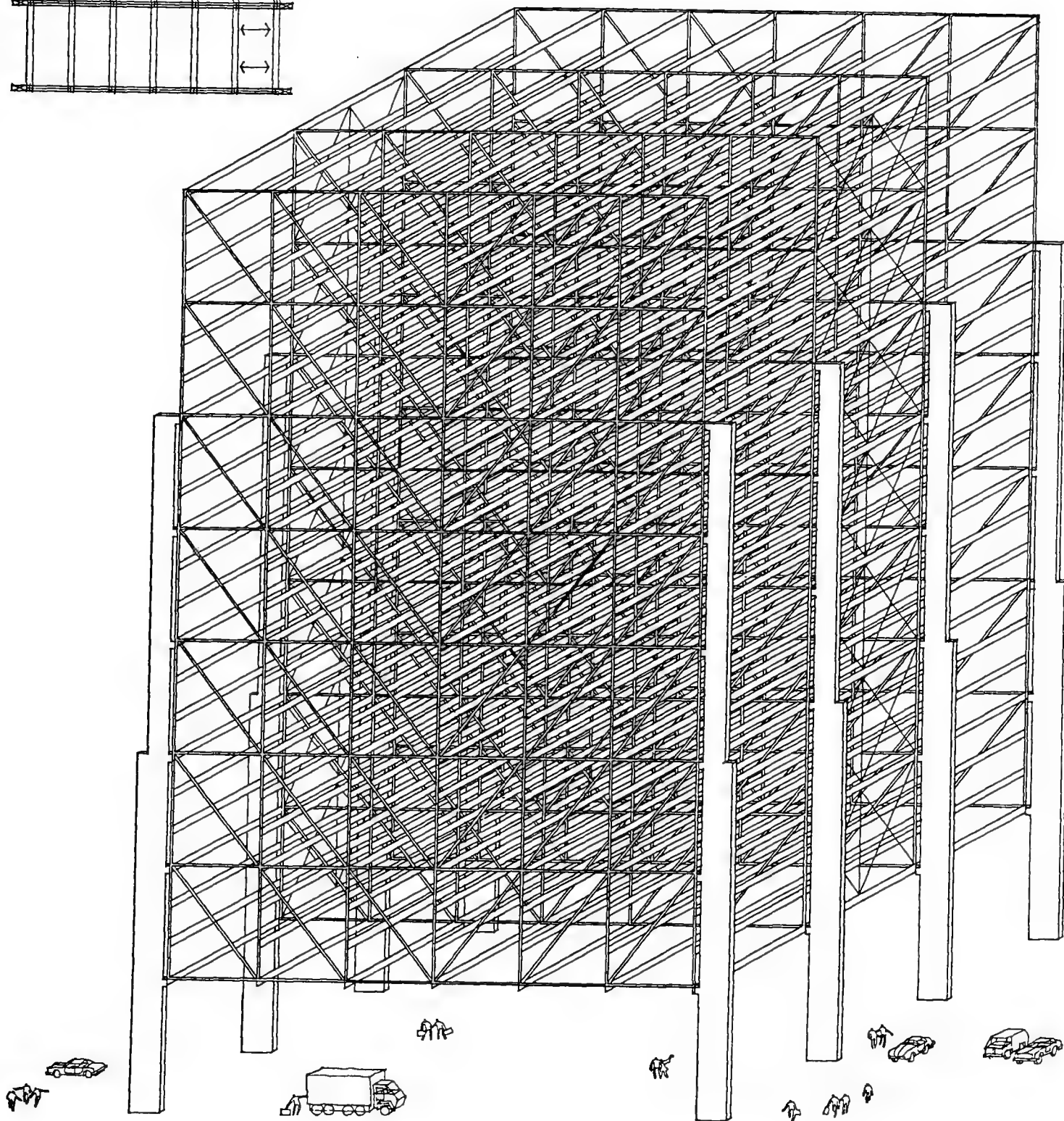
Многоярусный мост в фахверковой конструкции как высотное оболочковое сооружение с подвешенными рамами

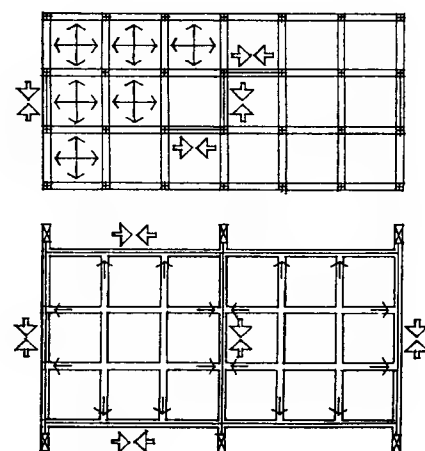
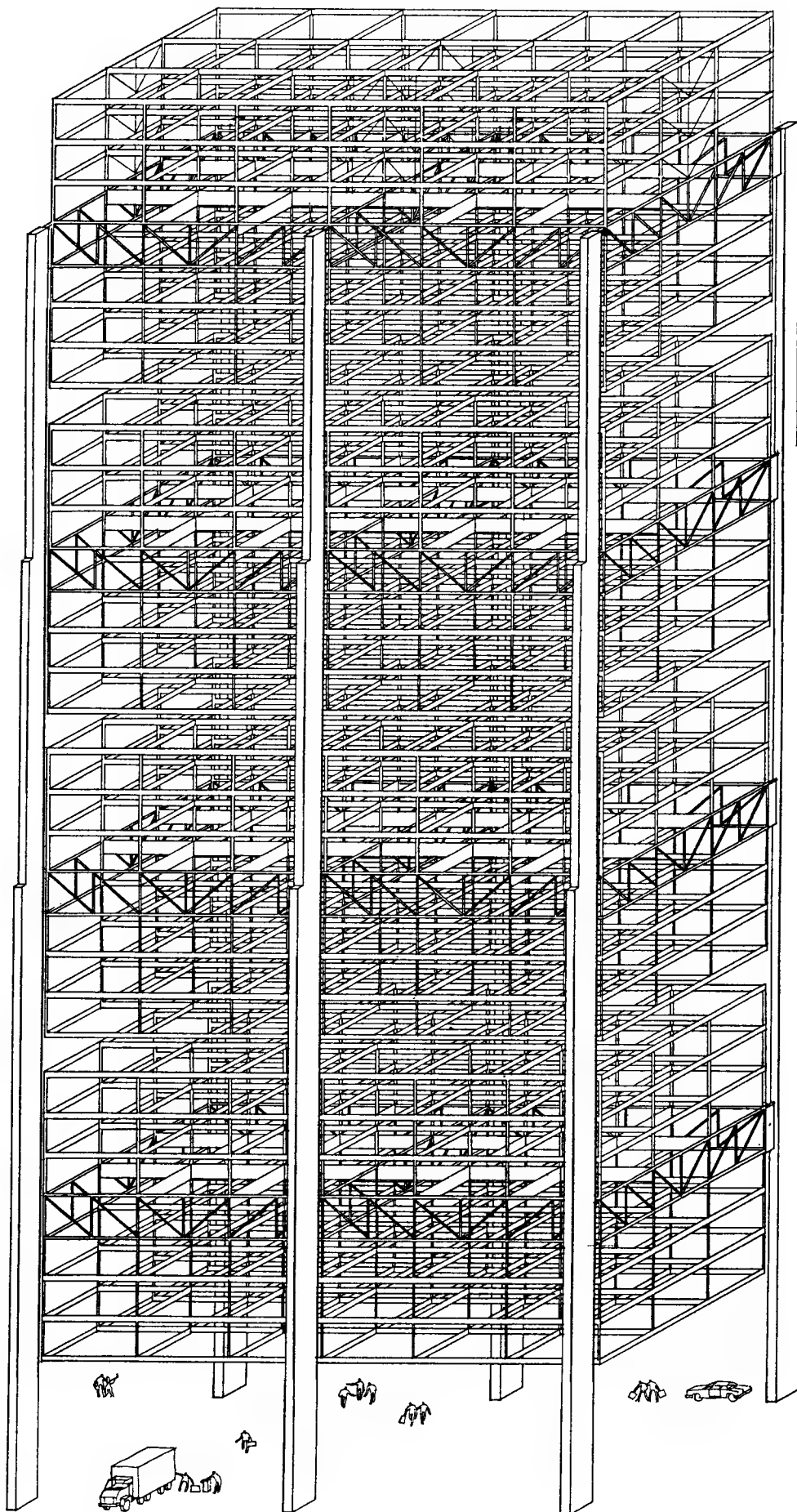




Многоярусный мост в фахверковой конструкции как растровое высотное сооружение с отдельными элементами жесткости в поперечном направлении

## МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ



МОСТОВЫЕ ВЫСОТНЫЕ  
СООРУЖЕНИЯ

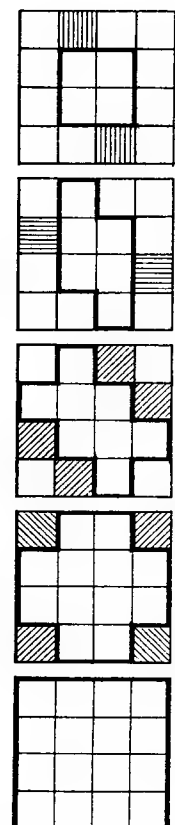
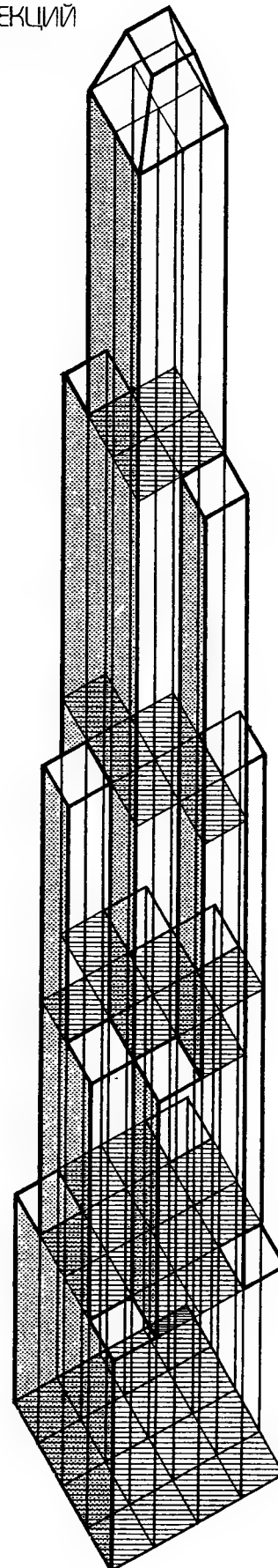
Штабелированные одноярусные  
мосты в фахверковой конструкции  
(связи жесткости) с частично уста-  
новленными, частично подвешенны-  
ми этажами в решетчатой системе

# ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ В ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

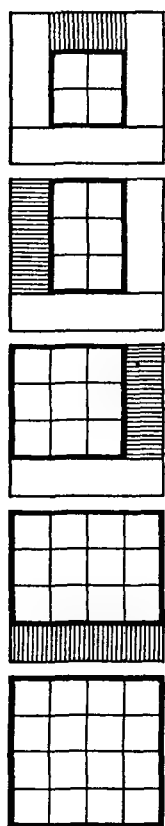
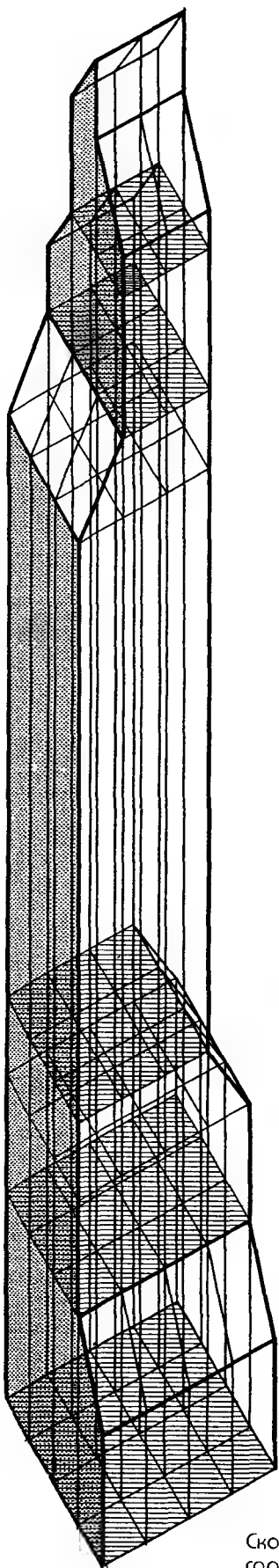
Штабелирование идентичных этажей и, тем самым, недифференцированное развитие высоты, являются отличительными признаками несущих систем, активных по высоте. Они основаны на прямой и вследствие этого экономичной передаче нагрузок силы тяжести.

Однако при условии непосредственной передачи нагрузок имеются многообразные возможности дифференциации вертикальной проекции через изменение формы горизонтальной проекции, главным образом, снизу вверх.

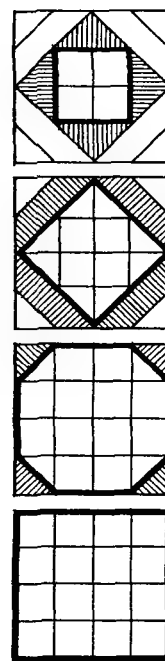
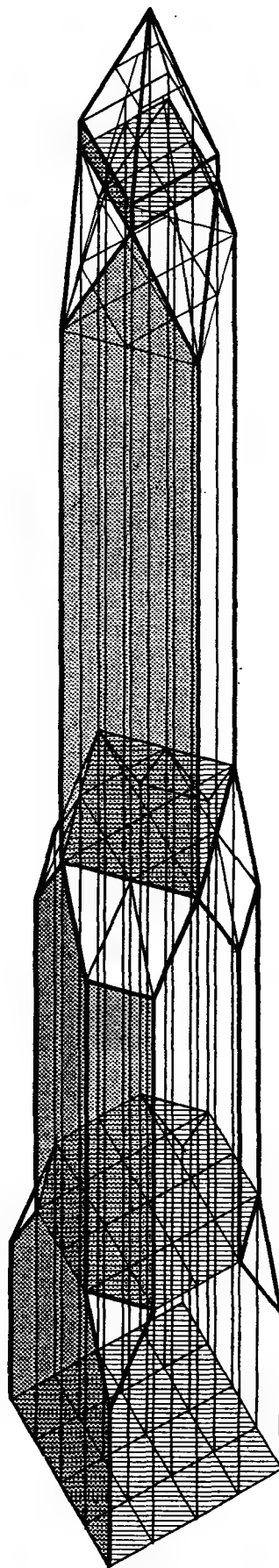
1 Примеры башенных форм в растровой системе



Симметричная осевая последовательность планов этажей

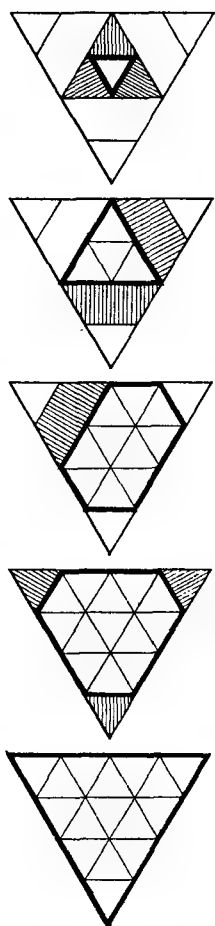
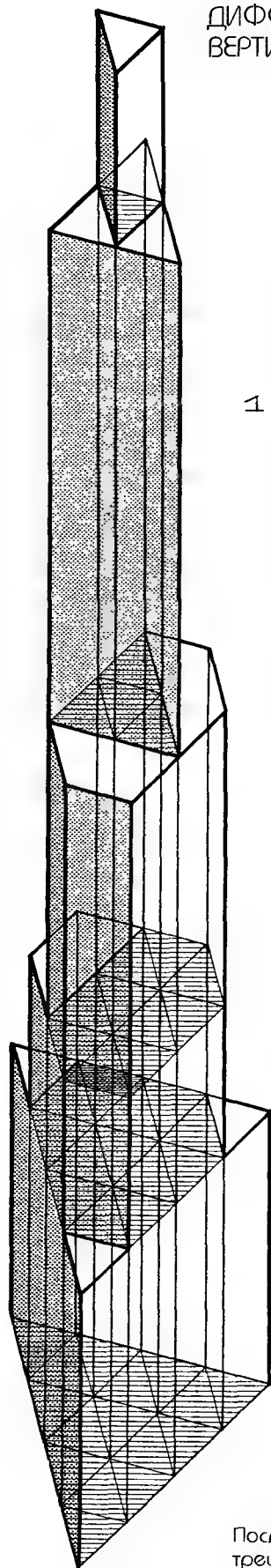
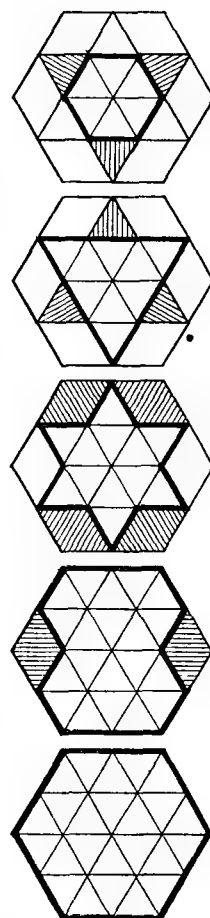
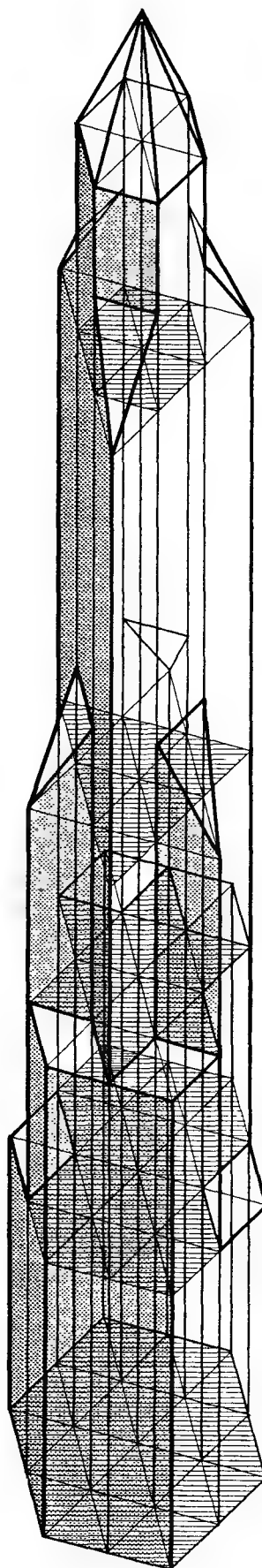


Скошенные по одной стороне переходы  
горизонтальных проекций

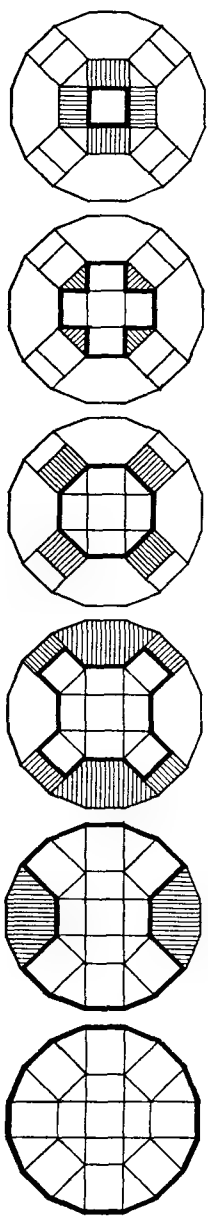
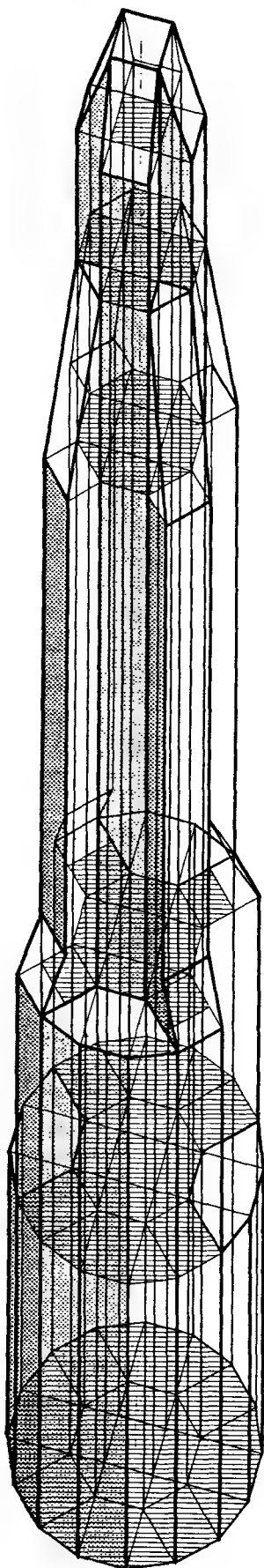


Симметрично скошенные переходы  
планов этажей

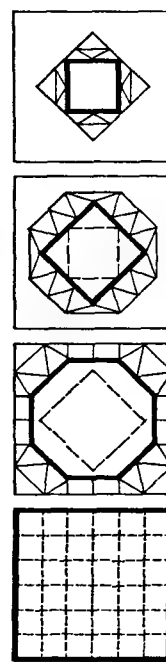
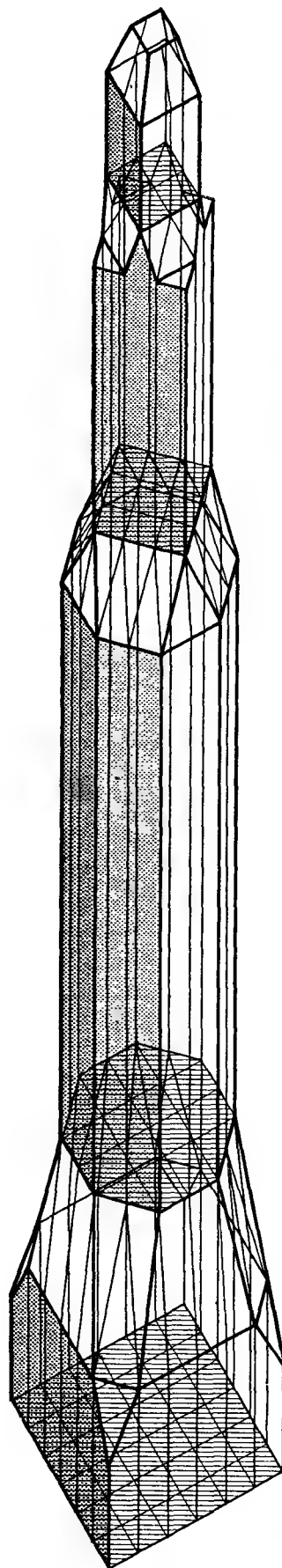


ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ1 Примеры форм башен  
в растровой системеПоследовательность планов этажей над  
треугольником как основной формой планаПоследовательность планов  
этажей над шестиугольником  
как основной формой плана



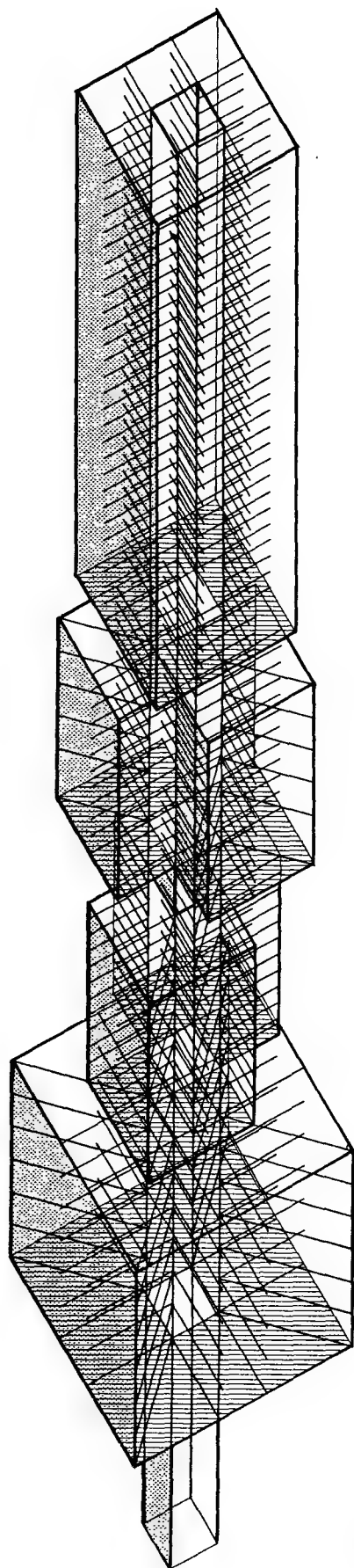


Последовательность над кругом  
как основной формой плана

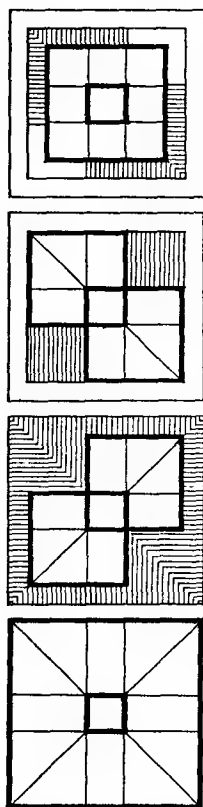


Постепенное изменение плана  
через несколько этажей

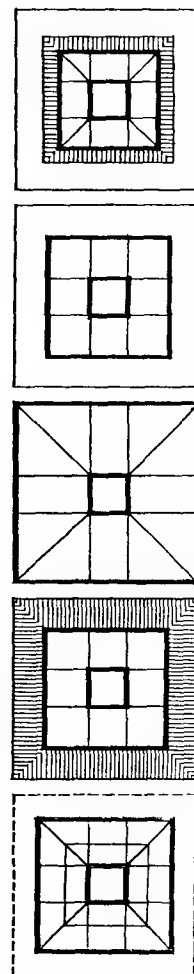
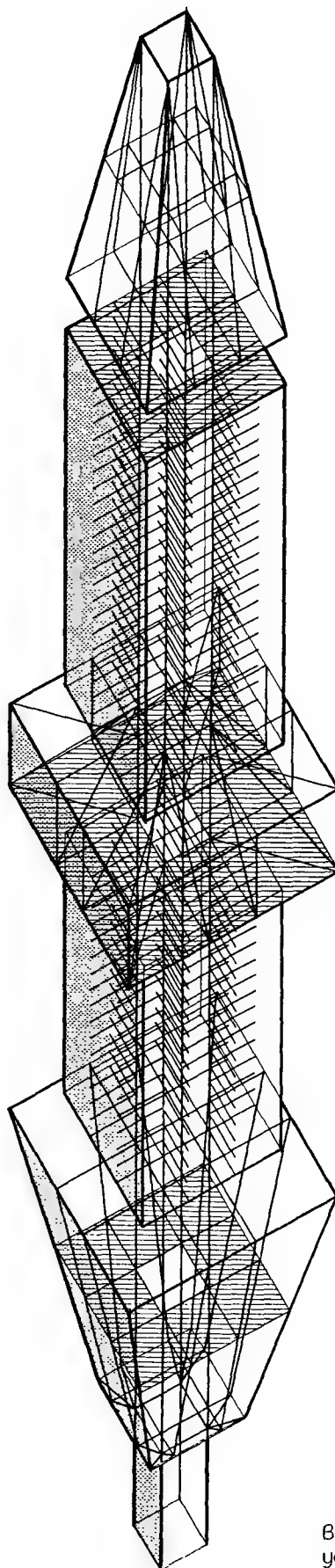
2 Примеры форм башен  
в системе с оболочками



3 Примеры форм башни  
в ствольной системе



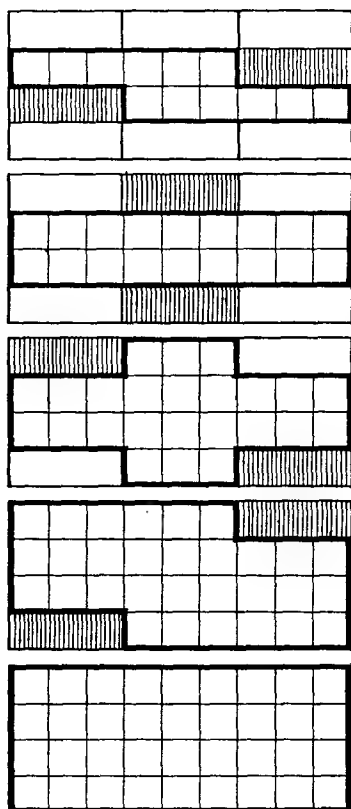
Отдельные и многоярусные  
консольные выступы



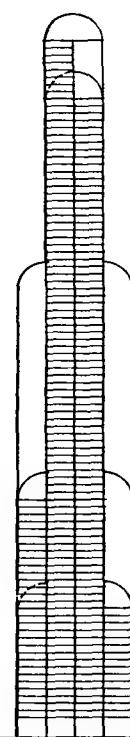
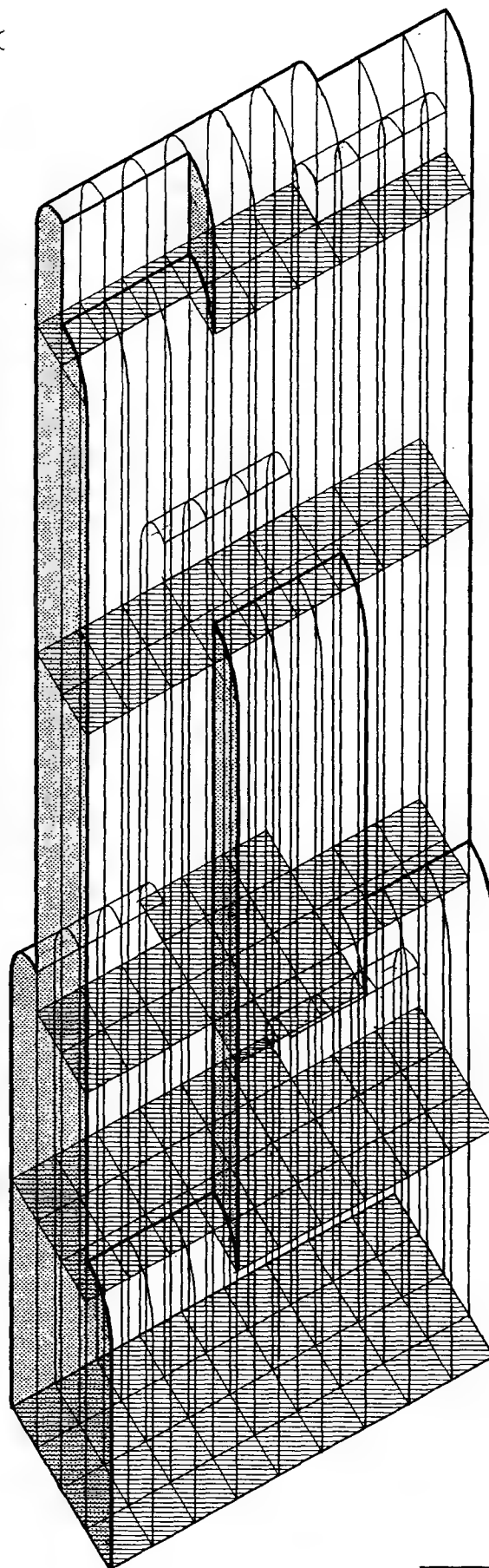
Выступ / подвешивание /  
установка

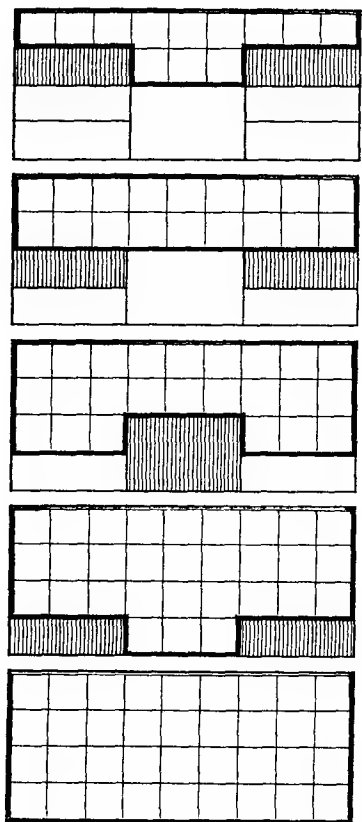
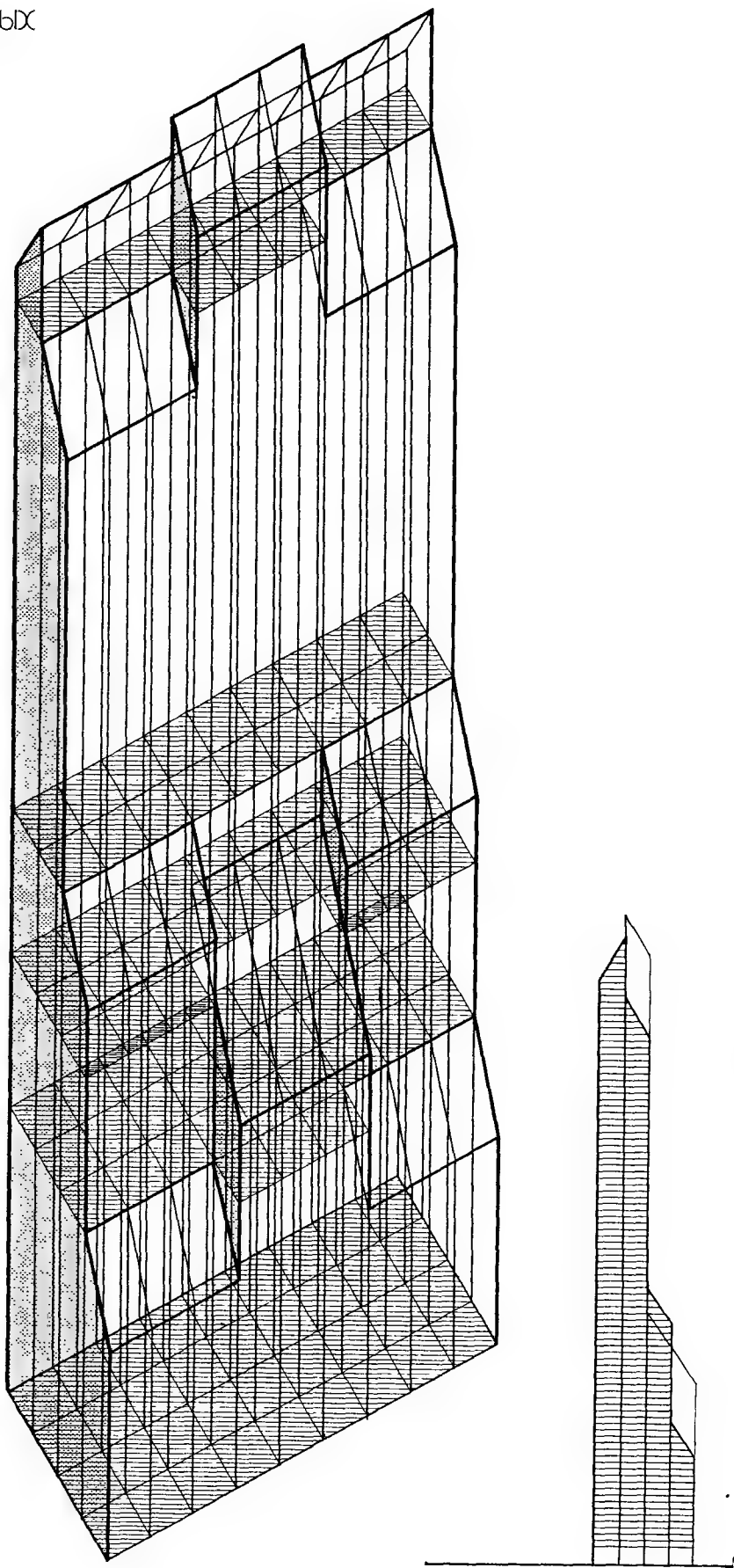
# ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ В ВЫСОТЫХ СООРУЖЕНИЯХ

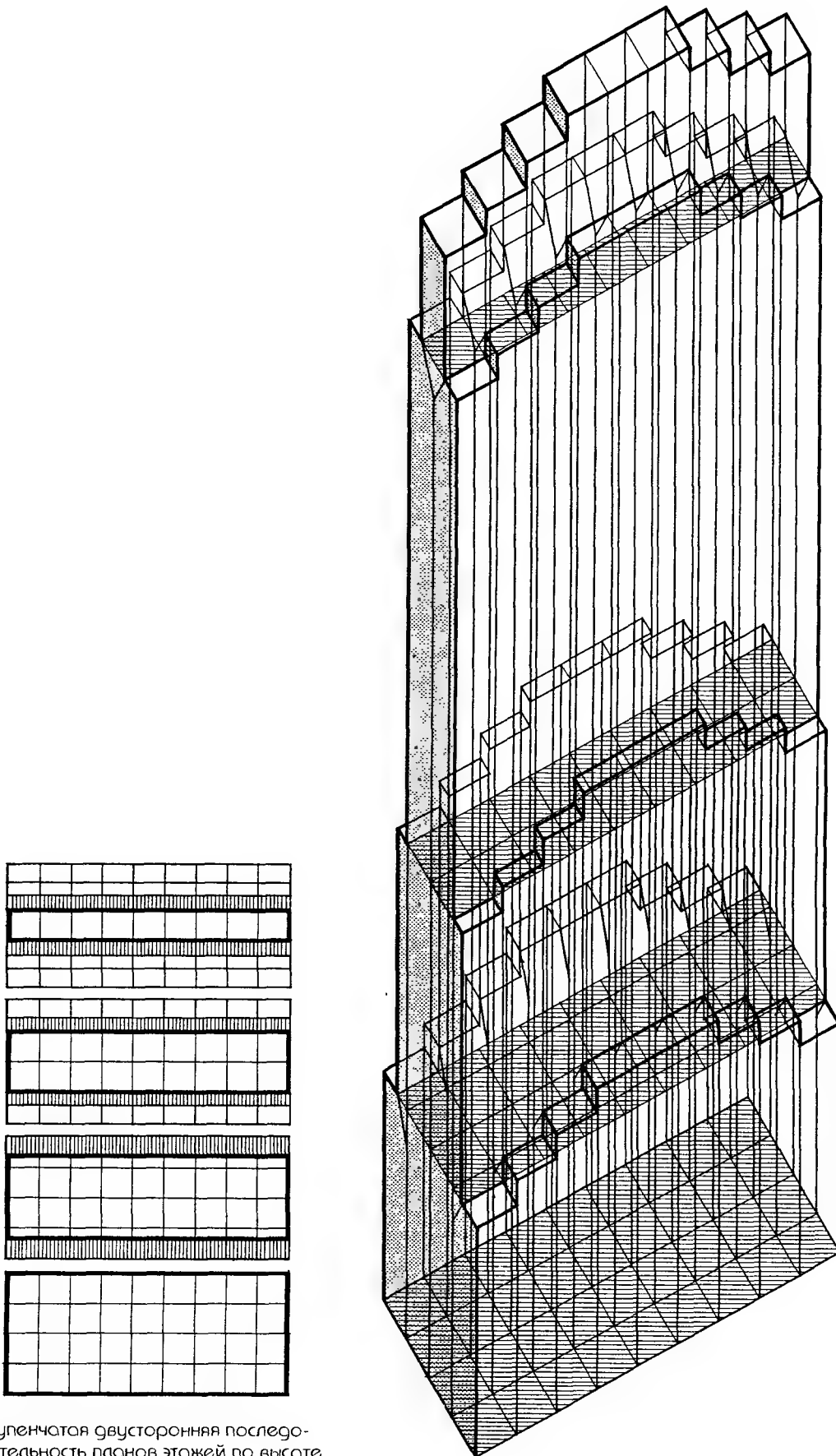
## 4 Примеры форм наружных стен в растровой системе



Симметричная осевая последовательность планов этажей



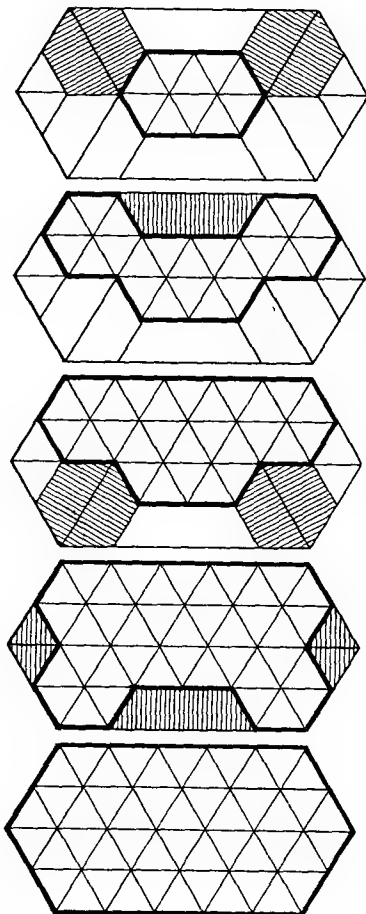
ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ПРОЕКЦИЙ В ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ4 Примеры форм наружных стен  
в растровой системеСкошенные с одной стороны  
переходы планов этажей



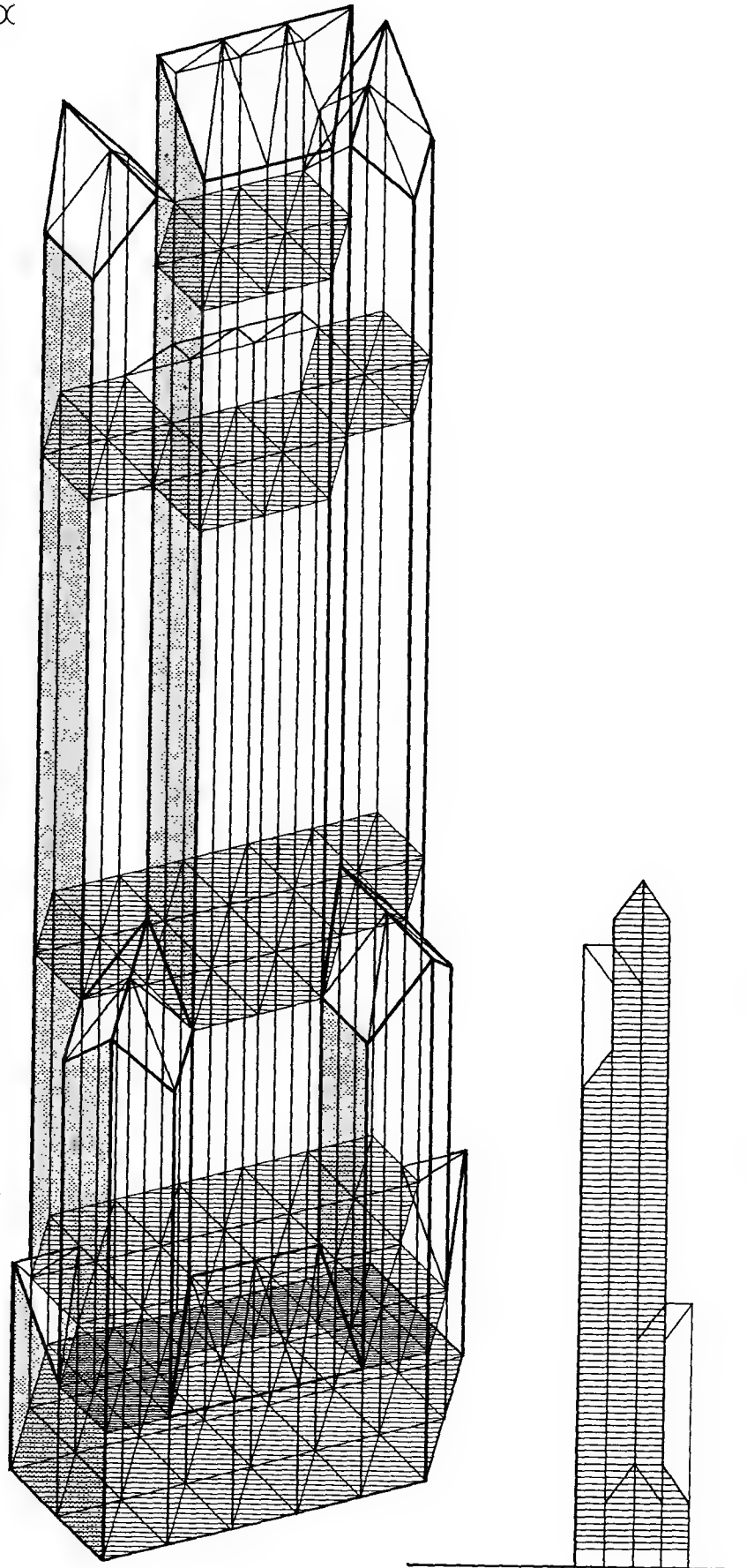
Ступенчатая двусторонняя последовательность планов этажей по высоте

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ПРОЕКЦИЙ В ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

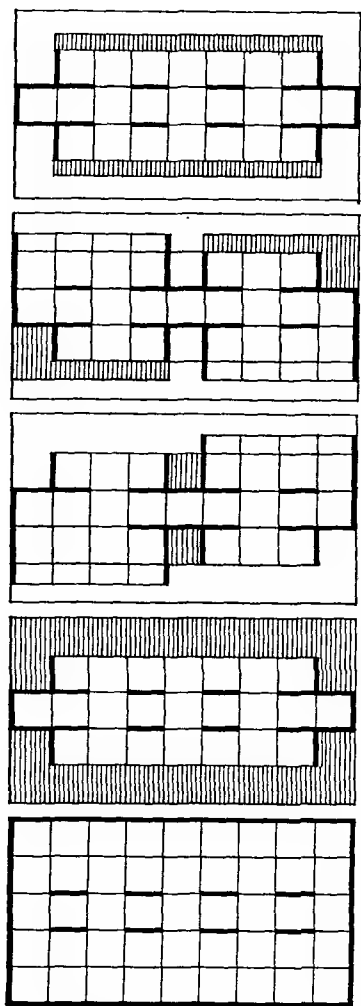
4 Примеры форм наружных стен  
в растровой системе



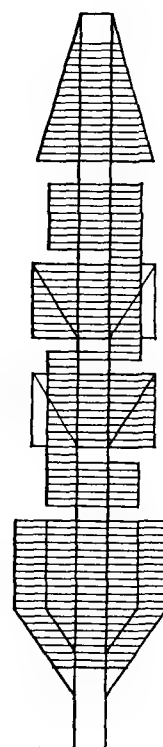
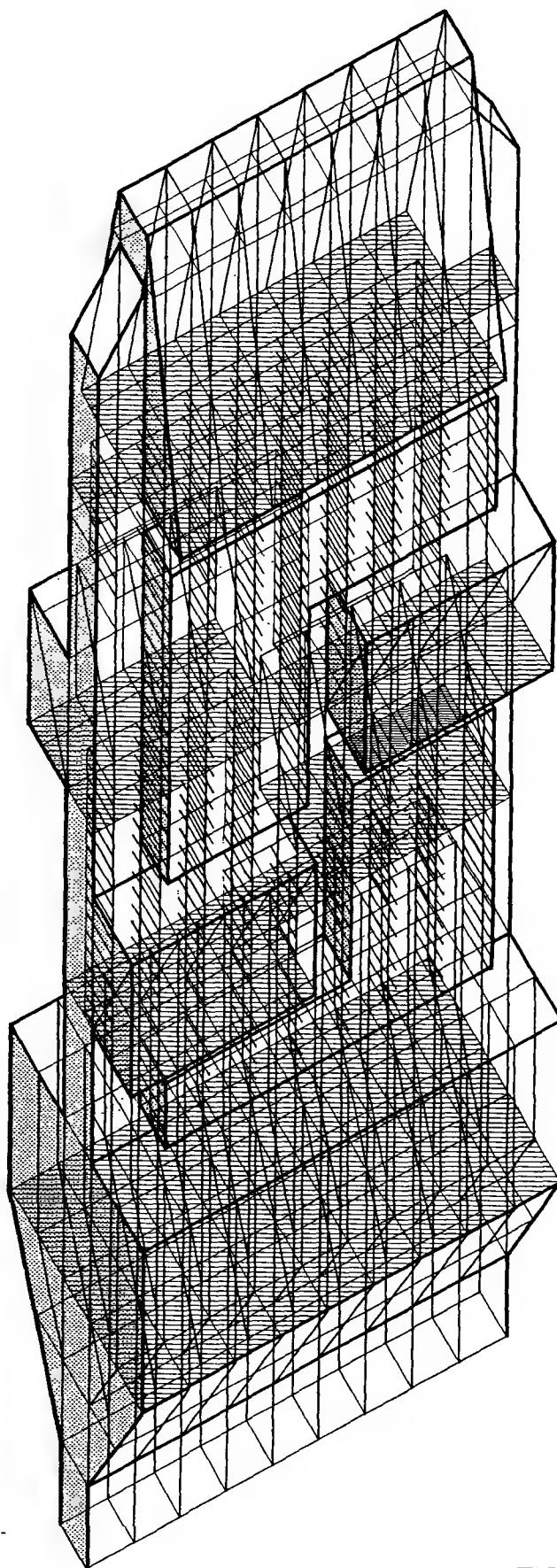
Перекрываемая последовательность  
планов над треугольным растром



Б Пример форм наружных  
стен в ствольной системе



Чередование выступающих, подвешенных и опер-  
тых объемов: выступ, подвешивание, установка



# **ГИБРИДНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ**

**6**



Две несущие системы с различным механизмом перераспределения сил могут быть объединены в единую действующую структуру с новым механизмом: гибридные несущие системы.

Предварительным условием для гибридной системы является то обстоятельство, что обе исходные системы равнозначны по своей несущей функции и в новом качестве зависят друг от друга.

Не считаются гибридными такие комбинации, в которых одна из исходных систем играет второстепенную роль или каждая система в процессе удержания выполняет отдельную функцию, такую как восприятие нагрузки, ее передача, стабилизация и т. д.

Гибридные системы не могут считаться самостоятельным «видом» или определенным «типом» несущих конструкций.

- Они не имеют типичного механизма перераспределения сил.
- Они не обнаруживают специфического, т. е. напряженного состояния.
- Они не обладают отличительными структурными признаками.

Таким образом, в отличие от типичных видов несущих конструкций гибридные системы характеризуются не самостоятельностью в перераспределении сил с особыми структурными формами, а специфическим принципом действия вследствие их парного соединения и вытекающим отсюда видом соединения систем.

Объединение различных видов несущих конструкций в единую действующую гибридную структуру достигается с помощью трех возможных форм:

1. Параллельное соединение = наложение, соотв. присоединение.
2. Последовательное соединение = сопряжение.
3. Перекрестное соединение = взаимопроникновение.

При наложении гибридных несущих систем перераспределение сил осуществляется по всей функциональной длине двух соединенных параллельно систем. Хотя параллельное соединение осуществляется посредством расположения двух систем друг над другом, теоретически возможно и боковое соединение.

В процессе сопряжения гибридных систем перераспределение сил происходит через различные несущие системы, которые выбираются по всей длине функционирования на отдельных участках в зависимости от механических требований, заданных по месту, и соединяются последовательно. Таким образом, возможно многократное сопряжение.

Гибридное соединение может также достигаться благодаря тому, что элементы одного семейства несущих конструкций пересекают элементы другого семейства подобно большой решетке: перекрестное соединение. Поэтому этот

вид соединения как альтернативный здесь не рассматривается.

Следующая область применения гибридных несущих систем задана, в частности, соединением активных по вектору или сечению линейных балок и вантовых конструкций:

- системы с перенапряженными элементами;
- системы с интегрированной троговой расчалкой.

Граница гибридных систем с обычными предварительно напряженными системами размыта.

Потенциал гибридных несущих систем сводится не просто к соединению несущих способностей двух систем, а к синергетическим возможностям, которые раскрываются при использовании различий в системах:

- взаимная компенсация критических усилий систем;
- распространение на всю систему парных или многоразовых функций отдельных компонентов системы;
- возрастание устойчивости вследствие встречных деформаций системы.

Разработка гибридных несущих систем охватывает, главным образом, две области решаемых задач:

1. Формирование единства – как механического, так и эстетического – из двух самостоятельных систем.
2. Раскрытие и использование синергетических связей между видами систем.

Выполнение этих задач требует обширных знаний обо всех несущих системах в отдельности, в особенности о картине усилий и изменении формы этих систем под воздействием различных нагрузок.

Гибридные системы больше всего подходят для строительных сооружений, которые подвержены чрезвычайным нагрузкам: большепролетные несущие конструкции и высотные сооружения. Возможность, которую дает соединение двух систем с различными решениями сопротивления нагрузке и деформации, еще далеко не исследованы.

Несмотря на бесспорно механическую каузальность (причинность) гибридных систем, эстетические представления могут стать конечной целью разработки новых несущих гибридных систем, но и эта отправная точка формообразования остается еще далеко не изученной.

Из соединения различных несущих систем со своими собственными механическими и формальными признаками получают многообещающие средства и возможности для разработки новых мощных несущих систем, стимулирующих

работу по созданию формы и пространства в архитектуре.

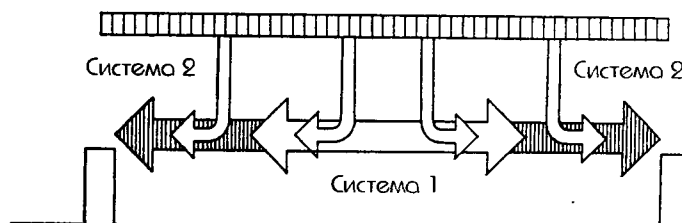
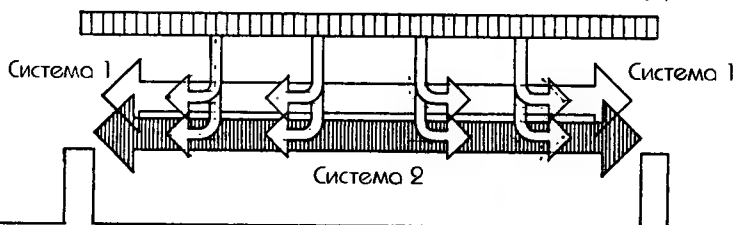
Таким образом, гибридные несущие системы занимают в учении о несущих конструкциях абсолютно особое место. Несмотря на то, что они за отсутствием определенной механики и структурной формы не идентифицируются как самостоятельный тип, их синергетический потенциал и бесконечное количество комбинационных возможностей приведут к тому, что в будущем они образуют собственную важную ветвь, хотя и абсолютно иной природы.

## ГИБРИДНЫЕ НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ –

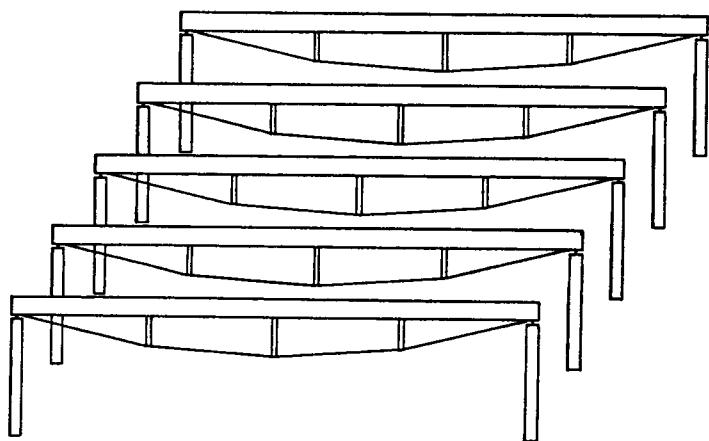
это системы, в которых перераспределение сил происходит благодаря взаимодействию двух или нескольких механизмов из различных «семейств» несущих конструкций, но принципиально одного уровня по несущей функции.

Взаимодействие осуществляется с помощью двух возможных форм объединения систем: наложения и сопряжения.

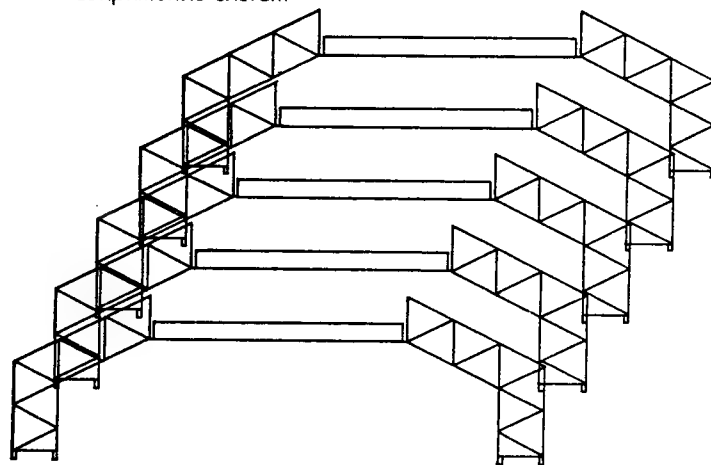
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ГИБРИД»



Наложение систем



Сопряжение систем

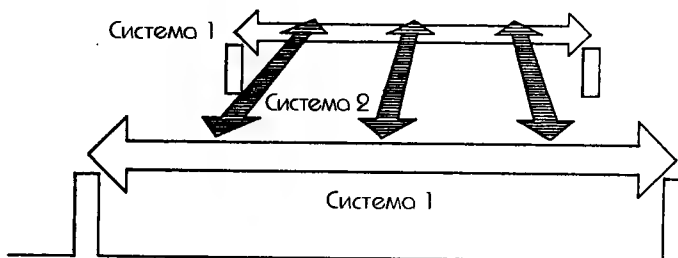
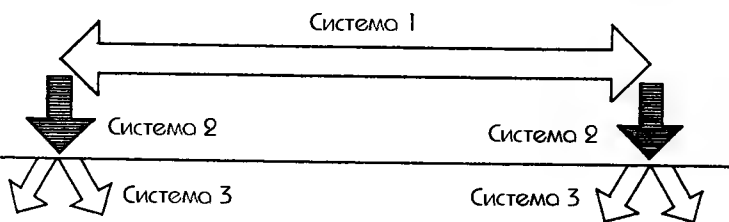


## ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

## Неправильное обозначение «гибрид»

Под гибридными несущими системами следует понимать такие системы, в которых отдельные функции несущей конструкции (восприятие

нагрузки, распределение нагрузки, передача нагрузки, стабилизация и т. д.) выполняются несущими конструкциями различных «семейств».



## Неправильная градация гибридных несущих систем

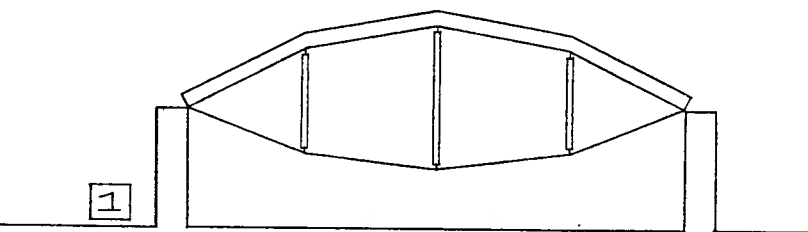
Гибридные несущие системы НЕ могут считаться отдельным «семейством» несущих конструкций:

1. У них отсутствует типичный механизм распределения сил.

2. Они не развивают специфического равновесия сил или напряженного состояния.

3. Они не обладают характерными структурными признаками.

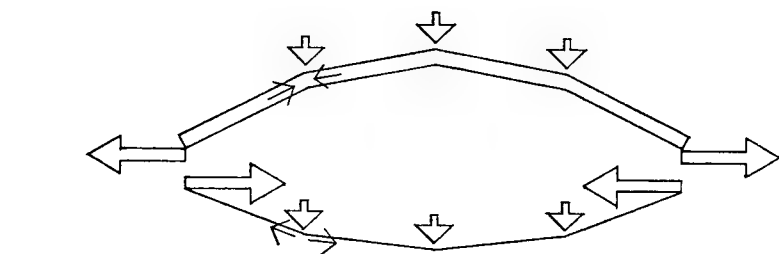
## ПОТЕНЦИАЛ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ, ОБЪЕДИНЕННЫХ МЕТОДОМ НАЛОЖЕНИЯ



### Компенсация критических усилий

Благодаря наложению критические усилия одной системы могут быть уменьшены или устранены за счет встречных усилий другой системы.

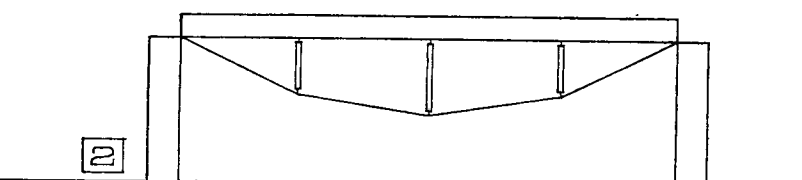
Например: встречные горизонтальные усилия несущей арки и несущей ванты на опорах.



### Многokратная несущая функция

Благодаря наложению становится возможным придавать отдельному элементу несущие функции системы, созданной этим методом.

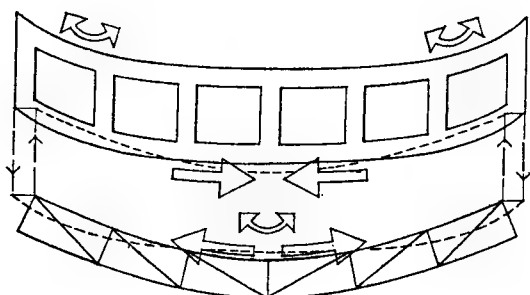
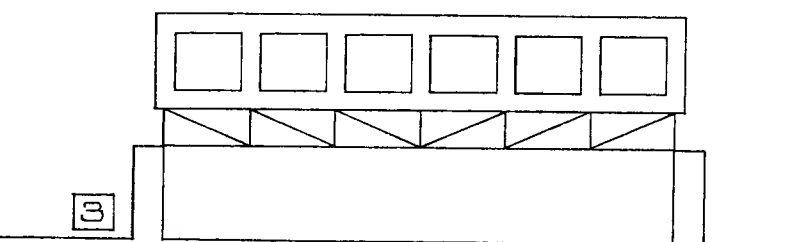
Например: функция верхнего пояса  
– в качестве неразрезной балки в изгибе;  
– в качестве сжатого стержня подвесной системы.



### Ограничение деформации

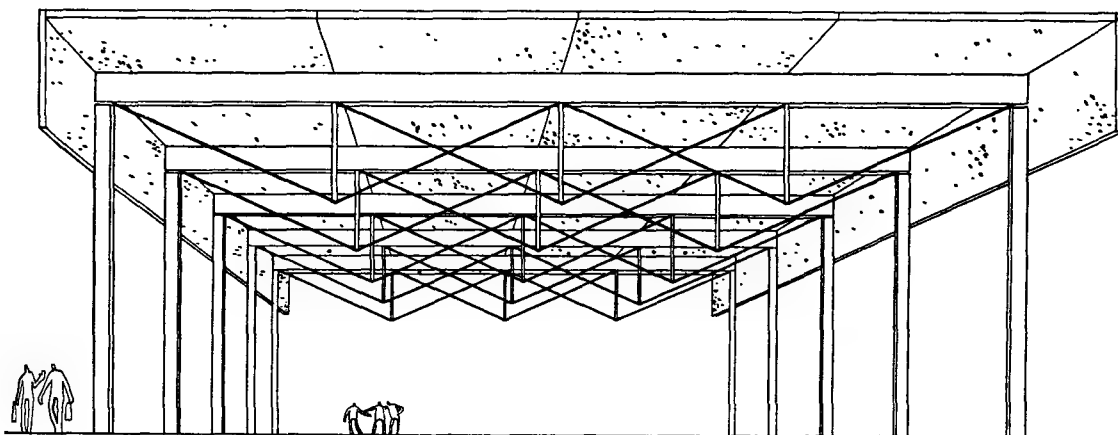
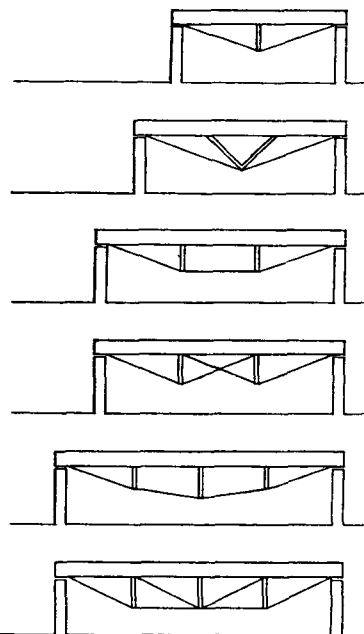
Вследствие наложения систем с противоположным характером деформации они препятствуют деформации друг друга.

Например: рамная несущая конструкция с максимальным сдвигом (поперечное усилие) на краях и решетчатая балка с максимальным сдвигом (изгиб) в центре.

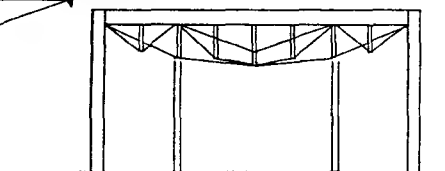
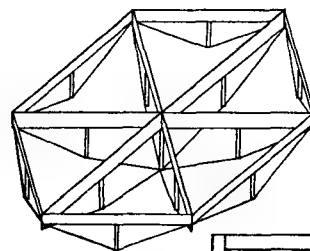


## НАЛОЖЕНИЕ НЕСУЩИХ СИСТЕМ, АКТИВНЫХ ПО СЕЧЕНИЮ И ФОРМЕ

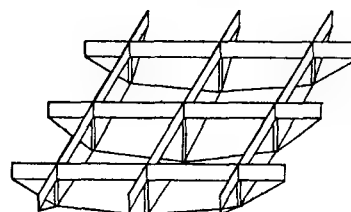
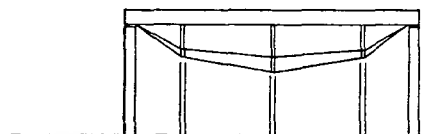
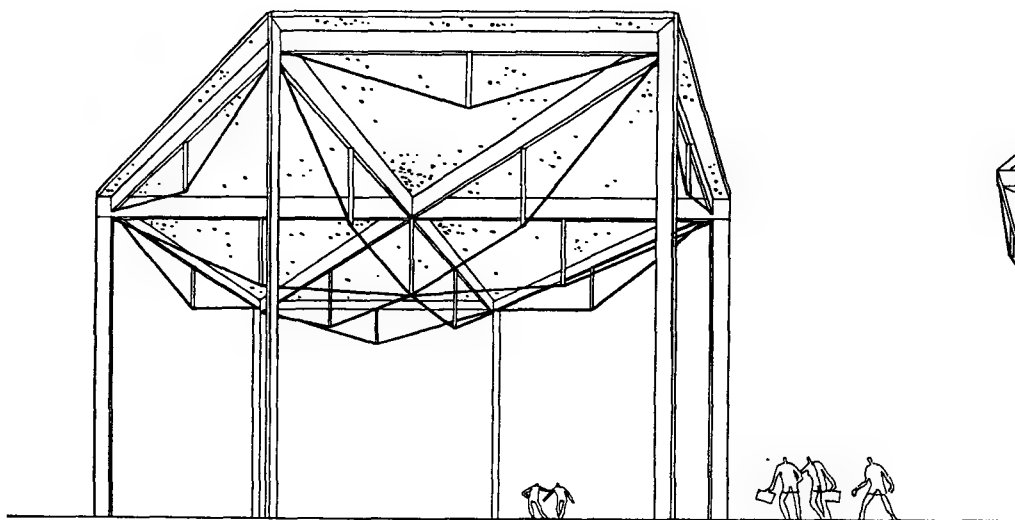
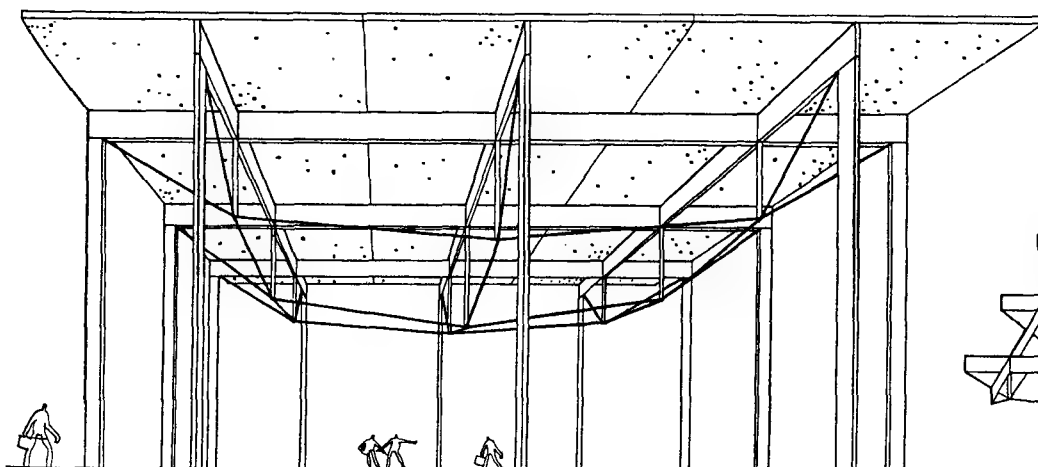
Шпренгельные балки



Шпренгельные параллельные балки

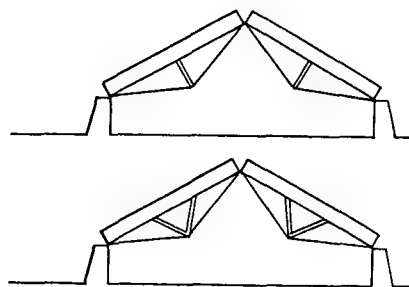
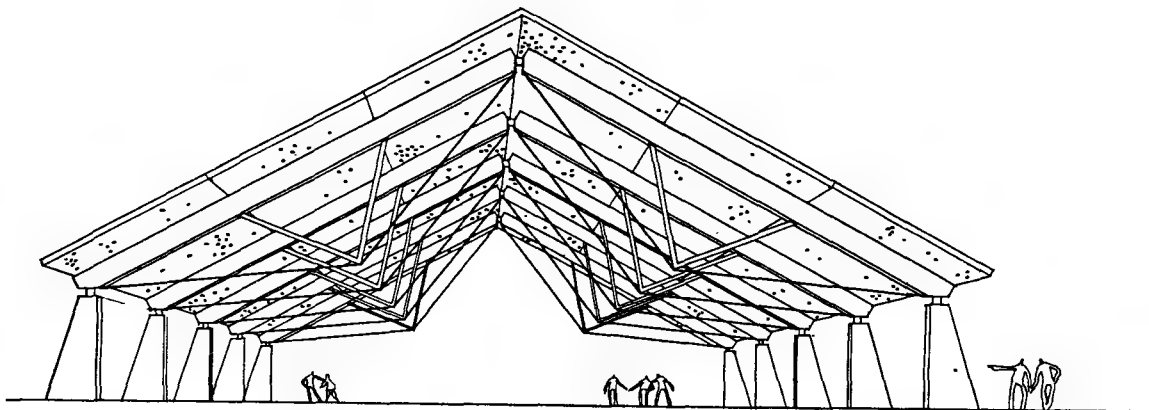
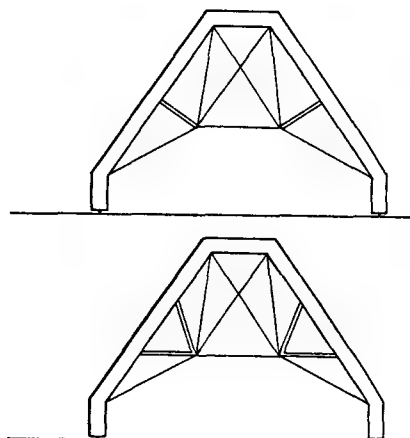
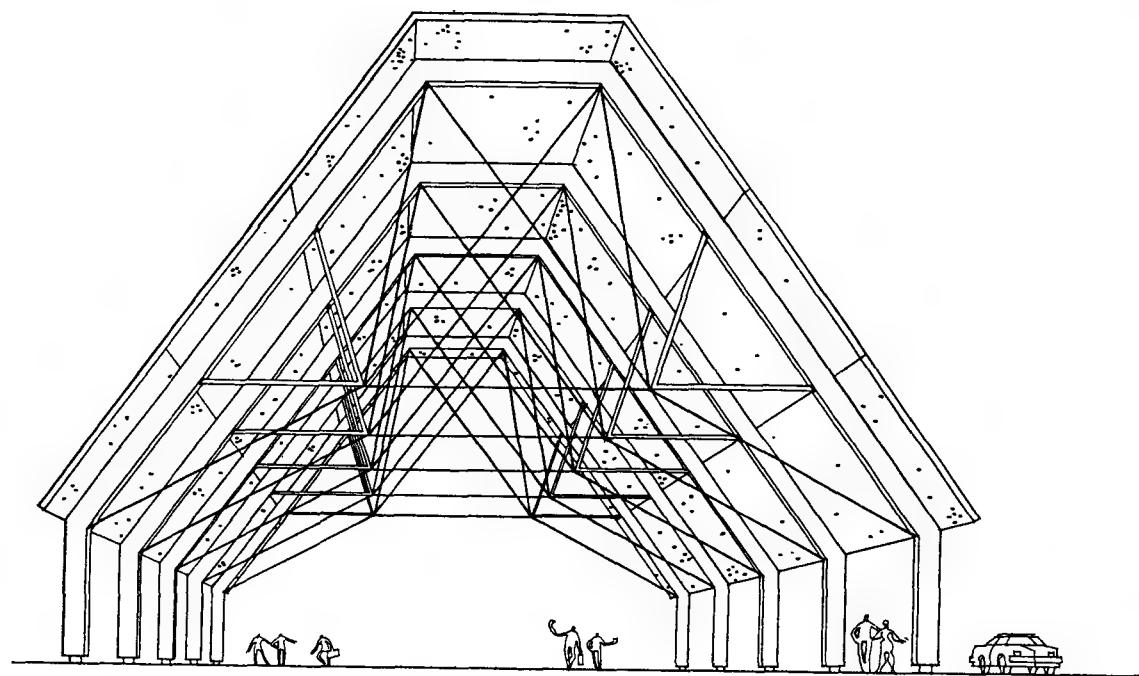
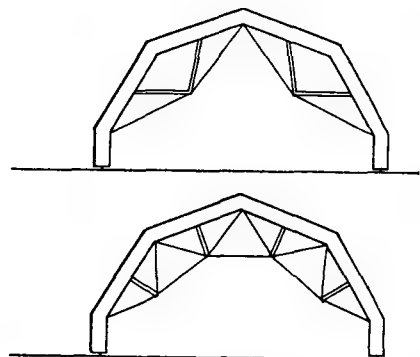
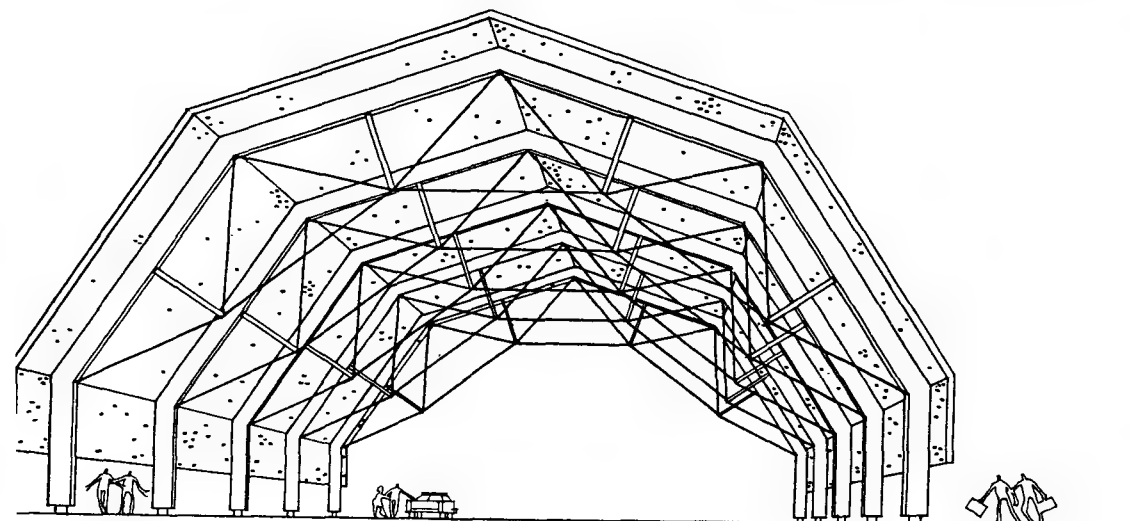


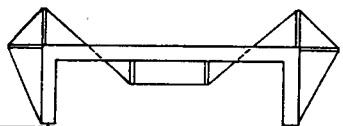
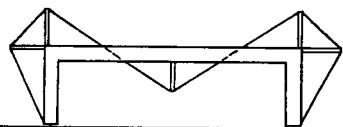
Концентрически расположенные шпренгельные балки

Шпренгельно-  
балочная решетка

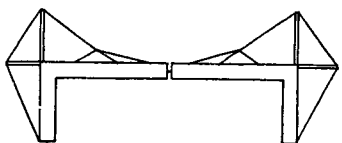
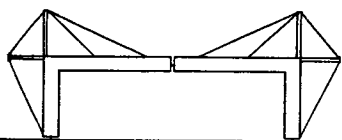
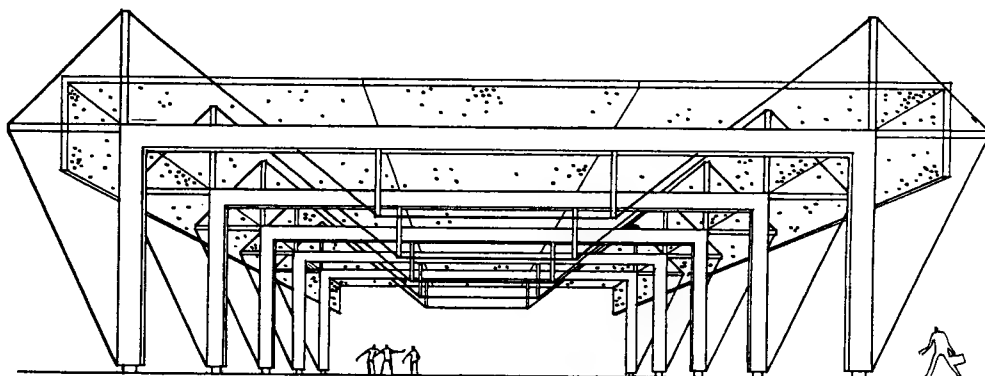
## НАЛОЖЕНИЕ АКТИВНЫХ ПО СЕЧЕНИЮ И ФОРМЕ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

Шарнирные рамы со шпренгелем

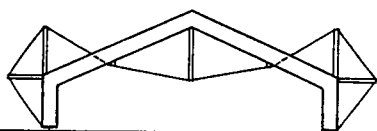
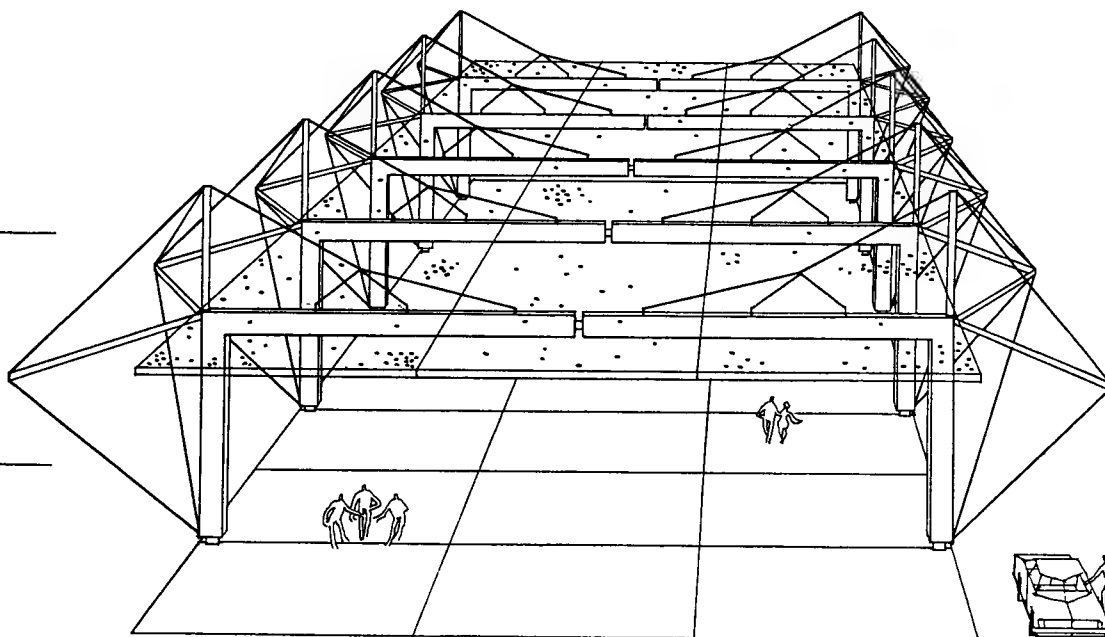
Трехшарнирные порталные  
рамы со шпренгелемДвухшарнирные арочные рамы  
со шпренгелемДвухшарнирные многоугольные  
рамы со шпренгелем



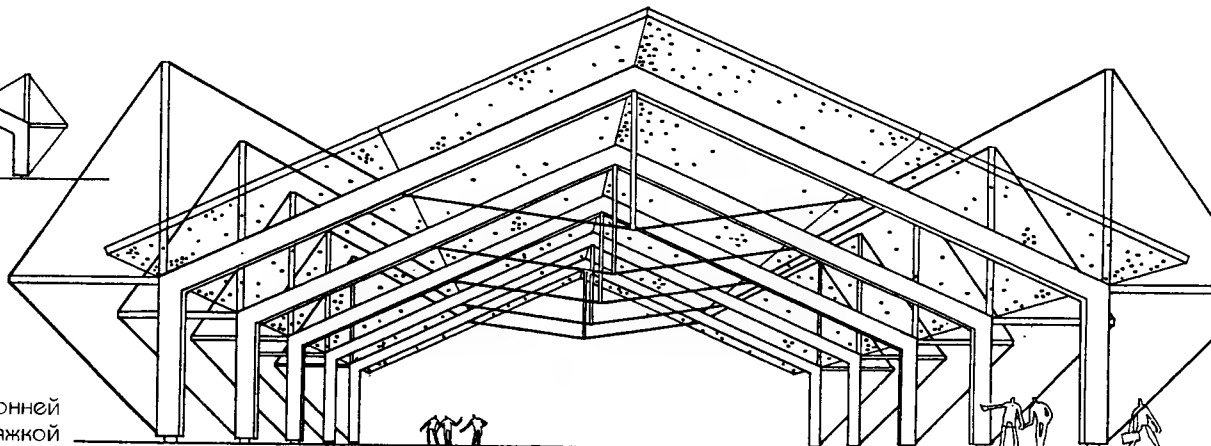
Двухшарнирная рама с двухсторонней  
оттяжкой



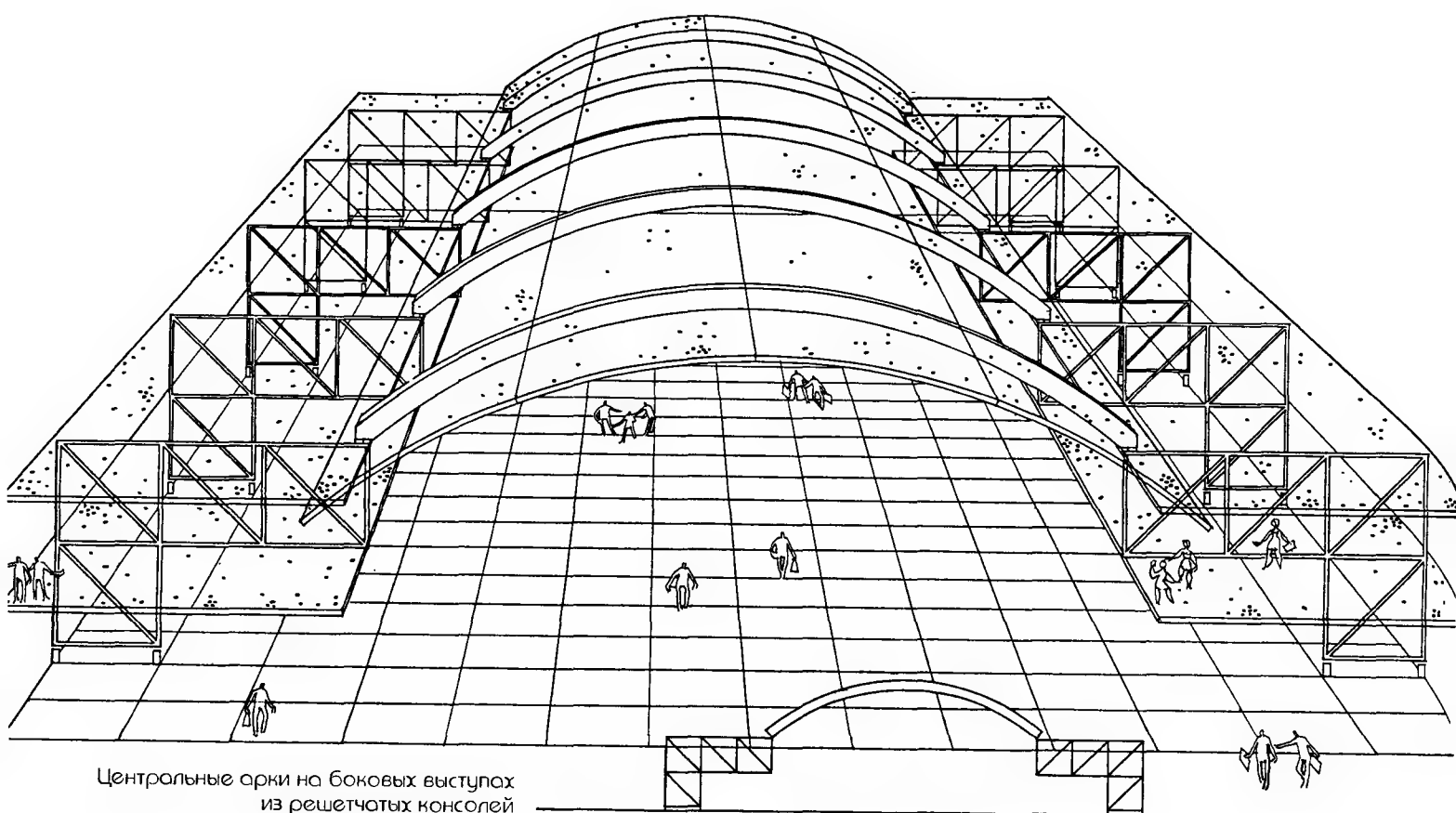
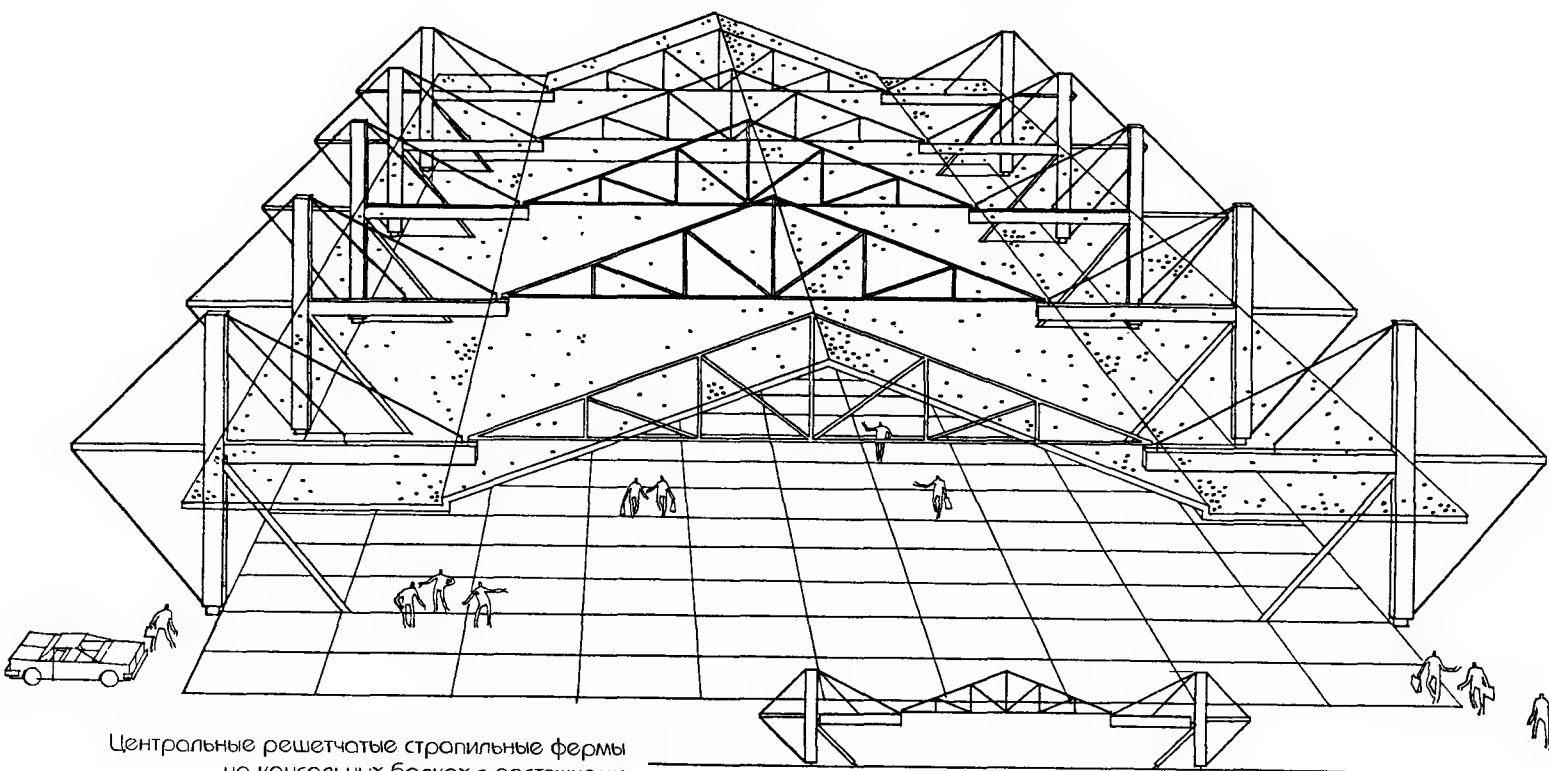
Трехшарнирная рама с верхней  
оттяжкой



Портальная рама с двухсторонней  
оттяжкой

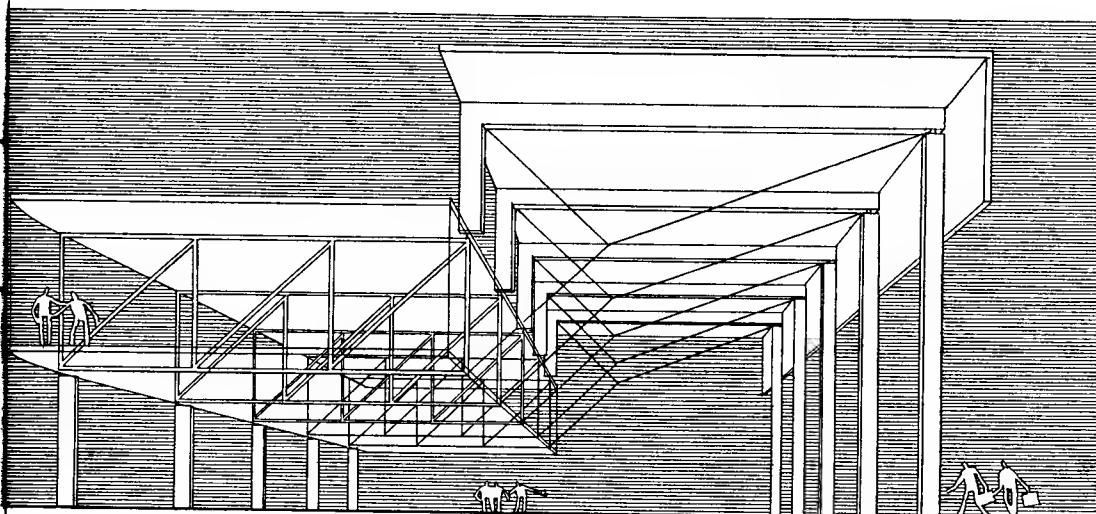


## СОПРЯЖЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ СИСТЕМЫ, АКТИВНЫЕ ПО ФОРМЕ И ПО ВЕКТОРУ

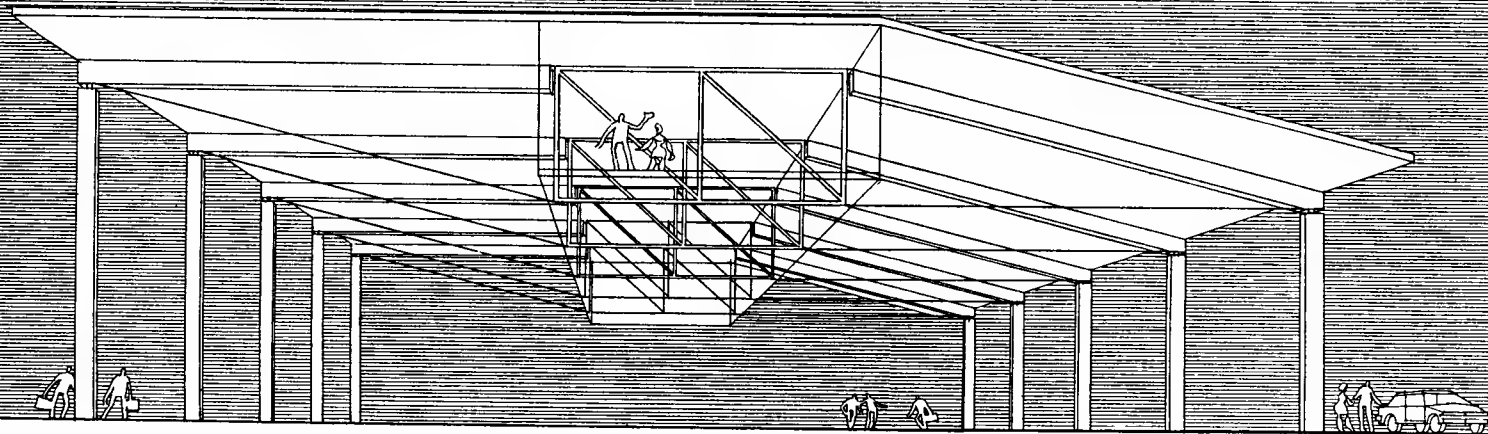
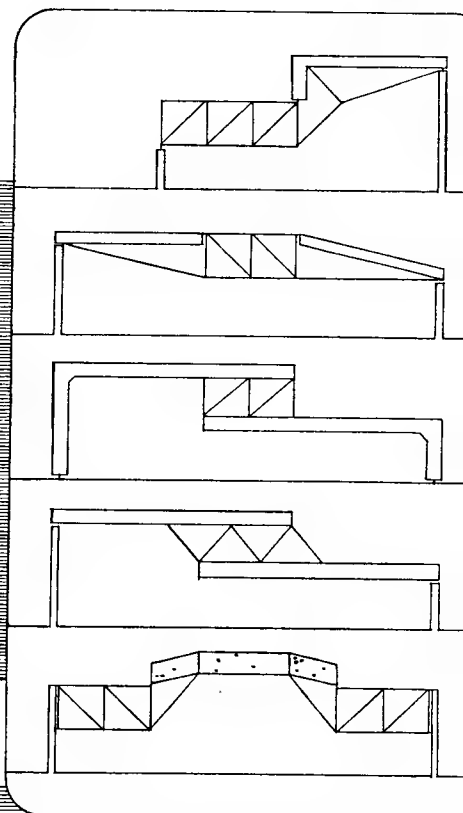




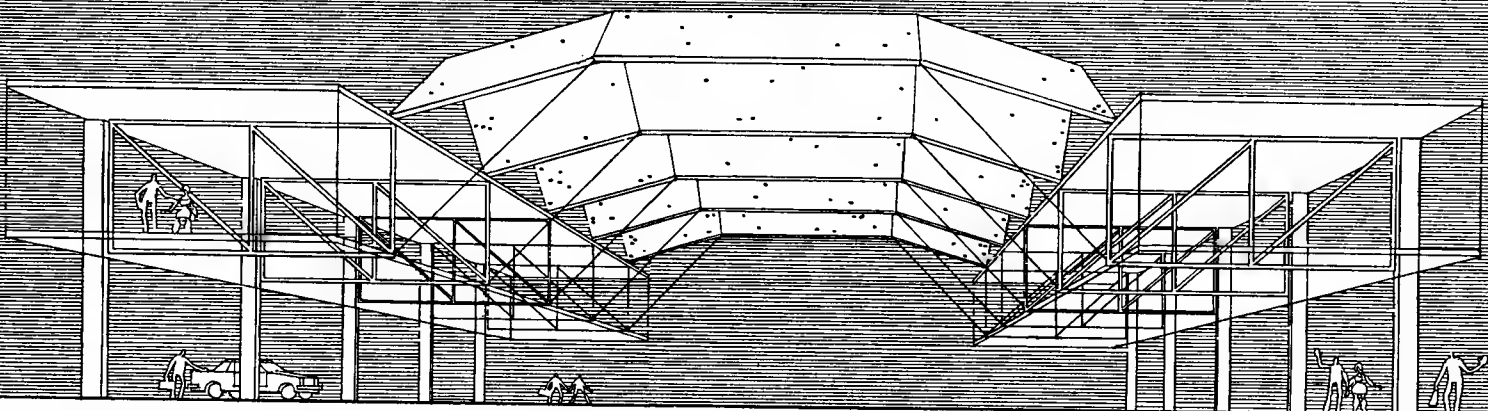
## КОМБИНАЦИЯ НАЛОЖЕНИЯ И СОПРЯЖЕНИЯ НЕСУЩИХ СИСТЕМ



Фахверк и рама с нижней затяжкой



Центральный фахверк с боковым балочно-вантовым соединением



Центральная складка с вантовой затяжкой на боковые решетчатые конструкции

# **ГЕОМЕТРИЯ И СТРУКТУРНАЯ ФОРМА**

**7**

Структурные формы в архитектуре – это формы, обусловленные функцией несущих конструкций изменять направление действующих сил посредством изменений в равновесии.

Структурные формы подчинены закономерностям земного притяжения и силовой механики. Поэтому они поддаются исчислению, контролю и их можно отследить; они имеют собственную логику, а также собственный язык – геометрию структурных форм.

Геометрия в области структурных форм – это точное определение линий, поверхностей и тел, которые проявляют типичные и полезные свойства при изменении направления сил. Их формы – это абсолютные нормы проектирования несущей конструкции.

Геометрия структурных технических форм не должна сводиться изначально и причинно-следственно к логике строительной механики – она является результатом предшествующих усилий человека постичь свое жизненное пространство, его формы и закономерности и таким образом сделать его понятным в мыслях и действиях.

Феномен того, как абстрактная геометрия линий, поверхностей и тел в пространстве передает преимущества строительной механики и демонстрирует прототипы структурных форм в архитектуре, до сих пор остается неисследованным.

Однако обоснованным является предположение, что распределение сил в пространстве равно или подобно структуре, которую придумал человек для раскрытия и понимания свободного пространства, а также для формообразования материи.

Такие типичные геометрические фигуры и тела, как круг, треугольник, парабола, сфера, цилиндр, тетраэдр и т. д., под воздействием внешних сил вызывают определенный поток усилий и образуют специфическую картину равновесия сил. И наоборот, особая комбинация сил вызывает структурную форму, соответствующую данному условию нагружения.

Родство, которое существует между математически обоснованными фигурами пространственной геометрии, с одной стороны, и механически обоснованными фигурами силовой геометрии – с другой, раскрывает глубинные связи между обеими. Этот вид соединения подтверждает общее значение геометрии и ее основных форм для каждого трехмерного действия.

Геометрия вообще – это учение о точном определении места в пространстве и о закономерностях плоского и объемного изображения. В таком виде геометрия является необходимым инструментарием для формирования реального пространственного мира, в том числе и несущих конструкций и сооружений.

Только благодаря геометрии мнимые представления о форме могут обрести ясность и быть идентифицированы через материальные объекты, пространственные изображения и технические связи; только тогда они могут передаваться, проверяться, оптимизироваться и, наконец, осуществляться. Геометрия является базовой дисциплиной для оформительской и проектной деятельности архитектора и инженера.

Хотя геометрия подчинена математической логике и поэтому не допускает самовольных отклонений, она не является препятствием для творческого проектирования. Наоборот: точно так же, как дисциплина языка является предпосылкой для каждой формы литературного творчества, систематика геометрии высвобождает фантазию, раскрывает поэтический потенциал структурных форм.

Для проектирования несущей конструкции, равно как и для архитектурного проектирования, геометрия выполняет три важные функции, являясь

- 1 – инструментом и средством для визуализации результатов проектирования = начертательная геометрия;
- 2 – каталогом прототипов форм и систем для развития идей по несущим конструкциям = геометрия структурных форм;
- 3 – научной основой освоения пространства и его закономерностей = геометрия линий, поверхностей, тел.

Геометрия структурных форм не замыкается на особую несущую систему или на специфическую категорию видов несущих конструкций. Правда, определенная геометрическая фигура может предложить для одного вида несущих конструкций большие возможности, чем для другого, однако геометрия – это дисциплина, которая переходит границы категорий и является общепринятой.

Геометрия – это также универсальный язык форм. К тому же жесткий канон формообразования понима-

ется как геометрический принцип организации пространства.

В технике новые перспективы открываются благодаря исследованиям структурных форм в природе. Ибо последние, которые возникли как реакция материи на внешние и внутренние силовые воздействия при минимальных затратах энергии, реально могут стать существующими диаграммами сил.

Геометрия структурных форм как универсальная дисциплина формообразования может способствовать

восстановлению утраченного порядка в современном окружающем мире; подобная мысль встречалась уже у античных философов.

Пространство и форма являются материалом, с помощью которого выражается и осуществляется архитектура. Чтобы постичь пространство и форму, т. е. чтобы измерять, моделировать, структурировать и замыкать их, нужны знания геометрии, которые являются предпосылкой к формообразованию несущих конструкций, строительных сооружений, равно как и всего окружающего мира.

## ТРИ ФУНКЦИИ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Геометрия, просто говоря, — это учение о математическом, т. е. точном определении местоположения тел и фигур в пространстве и о закономерностях их построения.

При проектировании несущих конструкций геометрия принципиально и решительно обосновывает функции. Формообразующий потенциал этих функций еще широко не используется.

Функция геометрии  
в проекте несущей конструкции

1

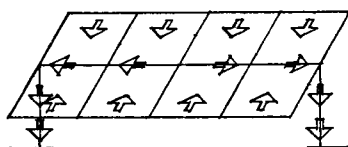
Средства для передачи  
содержания проекта  
несущей конструкции

Архитектурный  
образ

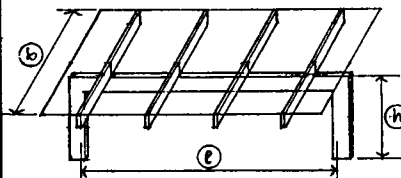
Поток сил.  
Система равновесия

Несущая система  
Несущая конструкция

Несущий элемент



Поток сил



Несущая система

Геометрия — это, собственно, средство осуществления проектирования несущей конструкции на отдельных этапах.

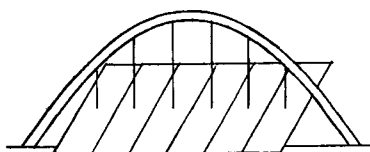
2

Образцы использования  
логичных несущих форм

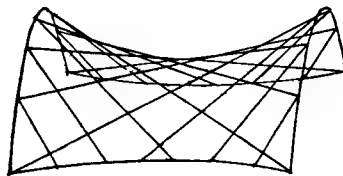
Линейные несущие фигуры

Поверхностные несущие  
фигуры

Объемные несущие фигуры



Линейная несущая конструкция



Поверхностная несущая фигура

Геометрия проявляется в логических структурах, которые похожи на диаграммы «природных» силовых потоков.

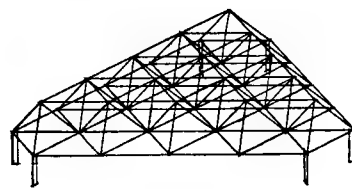
3

Наука освоения измерений  
несущих конструкций

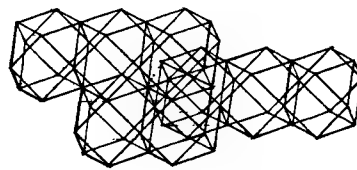
Структурирование  
плоскостей =  
пространственная  
оболочка / план

Структурное деление =  
несущие тела

Освоение пространства =  
функциональный объем



Структурное деление



Пространственное освоение.  
Функциональный объем

Геометрия — это научная основа и инструмент проектирования и разработки форм несущей конструкции.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

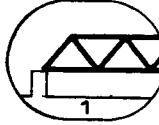
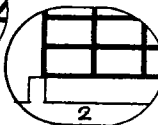
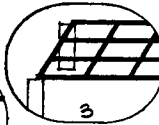
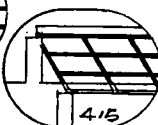
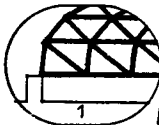
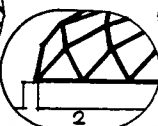
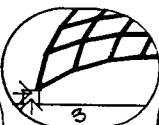
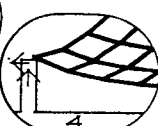
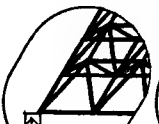
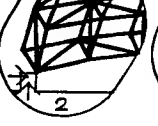
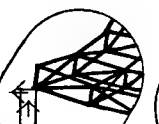
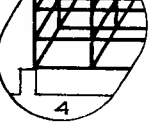
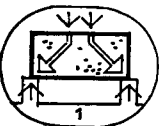
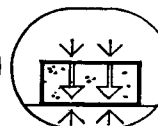
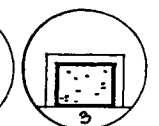
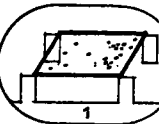
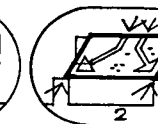
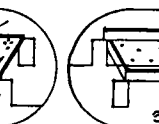
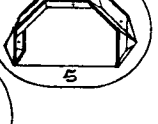
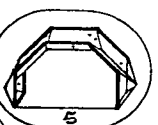
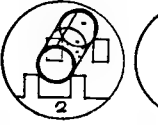
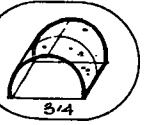
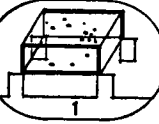
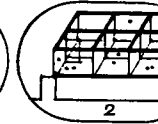
Взаимосвязь геометрии и несущих функций отдельных элементов (это относится, в сущности, к гравитационным нагрузкам).

Формы несущих конструкций возникают в воображении, модели или проекте в виде линий и плоскостей в пространстве.

Формы несущих конструкций образуются, в основном, из элементарных геометрических фигур.

Каждой элементарной геометрической фигуре в зависимости от положения в пространстве заданы определенные возможности их статической функции и использования внутри несущей системы.

| Геометрия              | Место / Фигура |   | Несущие компоненты / Конструктивные элементы                                                                                                                                                                                                       |  |
|------------------------|----------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| точка<br>①             |                | • | <ol style="list-style-type: none"> <li>опора</li> <li>защемление</li> <li>шарнир</li> <li>соединение</li> <li>стык</li> <li>узел</li> <li>основание, база</li> </ol>                                                                               |  |
| прямая линия<br>②      | вертикальная   |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>опора, столб</li> <li>подвесной элемент</li> <li>стойка рамы, стойка</li> <li>вертикальный стержень</li> <li>элемент распорки</li> </ol>                                                                    |  |
|                        | наклонная      | / | <ol style="list-style-type: none"> <li>раскос</li> <li>удерживающий трос</li> <li>элемент жесткости</li> <li>диагональный стержень</li> </ol>                                                                                                      |  |
|                        | горизонтальная | — | <ol style="list-style-type: none"> <li>балка, несущий элемент</li> <li>перемычка</li> <li>ригель</li> <li>анкерная стяжка</li> <li>верхний / нижний пояс</li> <li>(параллельные) ребра</li> </ol>                                                  |  |
| комплексная линия<br>③ | ломаная        | L | <ol style="list-style-type: none"> <li>ломаная балка</li> <li>фронтонная балка</li> <li>рама</li> <li>консоль</li> </ol>                                                                                                                           |  |
|                        | изогнутая      | ⤿ | <ol style="list-style-type: none"> <li>изогнутая балка</li> <li>сегментная перемика</li> <li>несущая арка</li> <li>несущая ванта</li> <li>стабилизирующий трос</li> <li>верхний / нижний пояс</li> <li>кольцевой анкер (опорное кольцо)</li> </ol> |  |

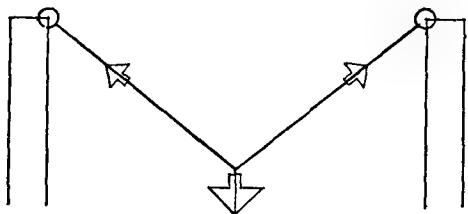
| Геометрия                    | Место / Фигура     |                                                                                     | Несущие компоненты / Элементы конструкции                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ④<br>скрепленная линия       | плоская            |    | 1 ферма<br>2 многопанельная рама<br>3 балочная решетка<br>4 кессон<br>5 крестовые ребра                                                                     |                                                                                                   |
|                              | изогнутая          |    | 1 фахверк<br>2 пластинчатая модульная сетка<br>3 опорная решетка<br>4 подвесная сетка                                                                       |                                                                                                   |
|                              | пространственная   |    | 1 пространственный фахверк<br>2 пространственная решетка<br>3 пространственная сетка<br>4 двухосная рама                                                    |                                                                                                   |
| ⑤<br>плоская ПОВЕРХНОСТЬ     | вертикальная       |   | 1 несущая панель<br>2 несущая стена<br>3 элемент жесткости                                                                                                  |                                                                                                                                                                                   |
|                              | горизонтальная     |  | 1 несущая плита<br>2 горизонтальная плита<br>3 элемент жесткости                                                                                            |                                                                                                                                                                                |
|                              | складчатая         |  | 1 призматическая складчатая конструкция<br>2 пирамидальная складчатая конструкция<br>3 складчатый несущий элемент<br>4 складчатая рама<br>5 складчатая арка |      |
| ⑥<br>комплексная ПОВЕРХНОСТЬ | одинарная кривизна |  | 1 свод-оболочка<br>2 труба / воздушный рукав<br>3 свод<br>4 воздухоопорная конструкция                                                                      |                                                                                           |
|                              | двойная кривизна   |  | 1 оболочка<br>2 тентовая мембрана<br>3 воздушная подушка<br>4 воздушный рукав<br>5 трубы                                                                    |      |
|                              | комбинированная    |  | 1 коробчатая рама<br>2 перекрестно-пластинчатая конструкция                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                     |

## ДИАГРАММЫ СИЛ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ

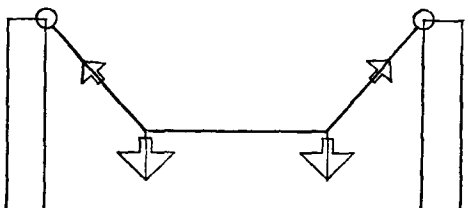
Тросы не могут воспринимать изгиб из-за малого поперечного сечения по отношению к длине. Несущая форма троса, подвешенного с двух сторон, – воплощение силовой диаграммы для

данного случая нагружения. Таким образом подтверждается основополагающая связь реальности силовых картин и абстрактности математической геометрии.

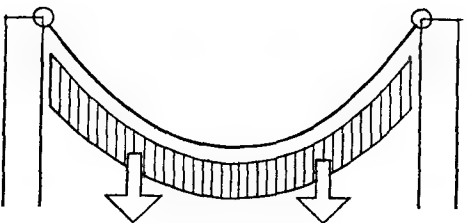
### Диаграммы сил



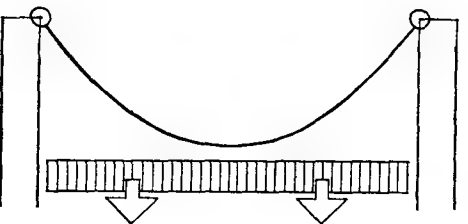
Центральная  
единичная  
нагрузка



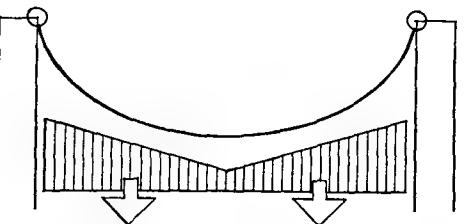
Две симметричные  
отдельные  
нагрузки



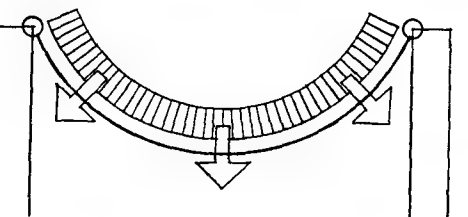
Собственный вес =  
линейная равно-  
мерно распреде-  
ленная нагрузка



Горизонтальная  
равномерно  
распределенная  
нагрузка

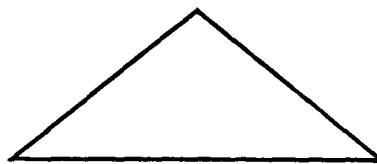


Возрастающая  
к краям нагрузка



Радиально  
направленная  
нагрузка

### Геометрические фигуры



Равнобедренный  
треугольник



Трапеция



Опорная, или цепная,  
линия



Парабола



Сегмент эллипса

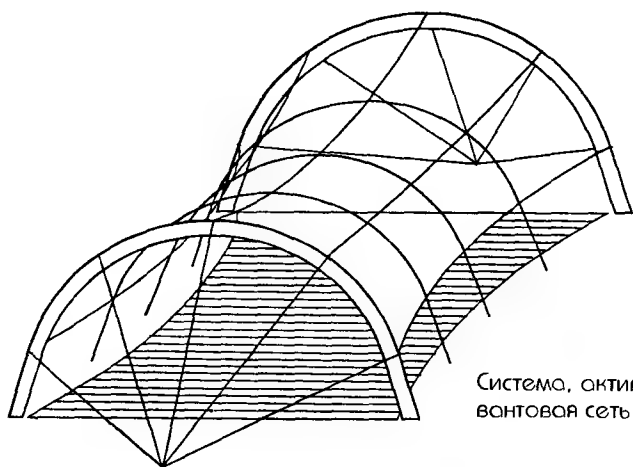


Сегмент круга

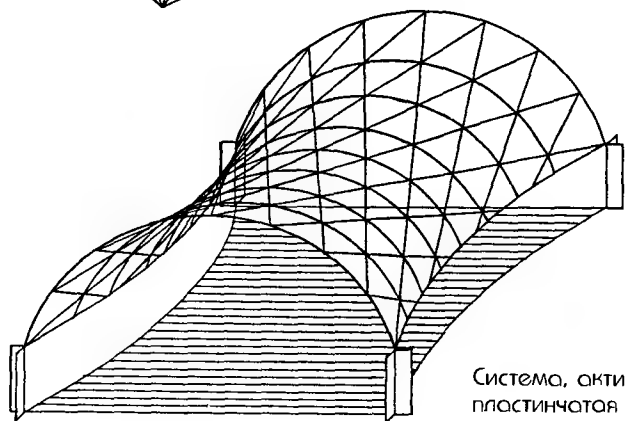


ПОТЕНЦИАЛ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ  
ДЛЯ КОНЦЕПЦИИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ

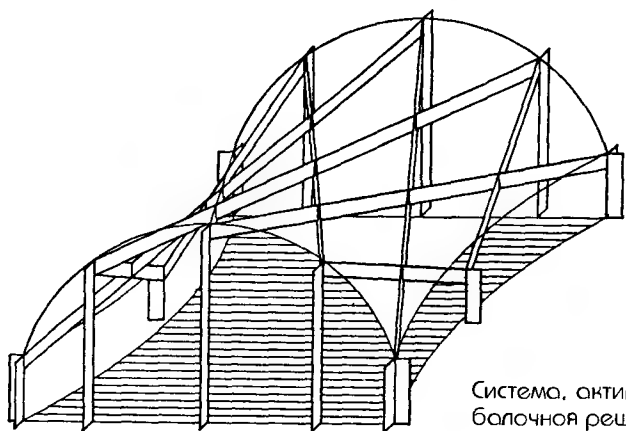
Основные геометрические формы ведут себя по отношению к внешним силам таким образом, который является специфическим для них. Это означает, что каждой основной форме должен быть подчинен механизм сопротивления, типичный для нее. Внутри этого подчинения возможны, однако, – в зависимости от геометрии – различные несущие системы.



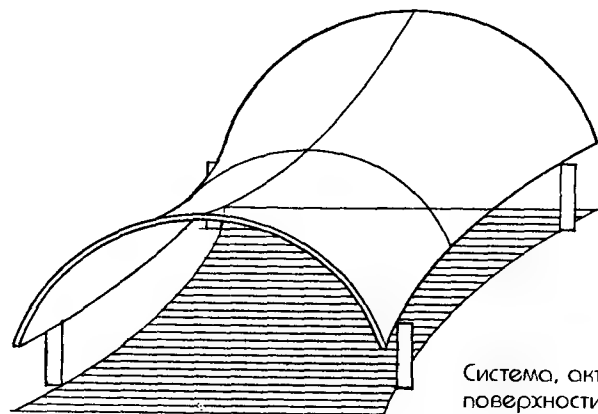
Система, активная по форме =  
вантовая сеть



Система, активная по вектору =  
пластинчатая решетка

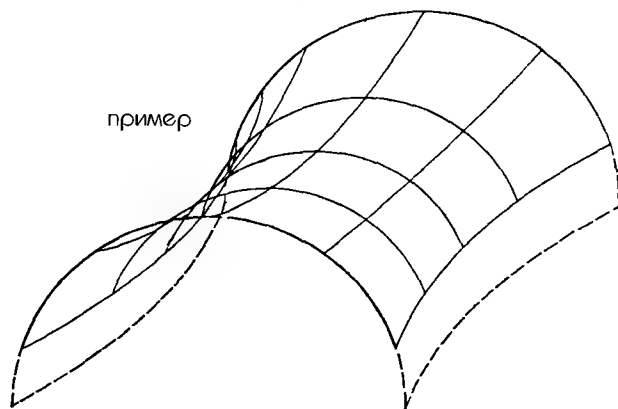


Система, активная по сечению =  
балочная решетка



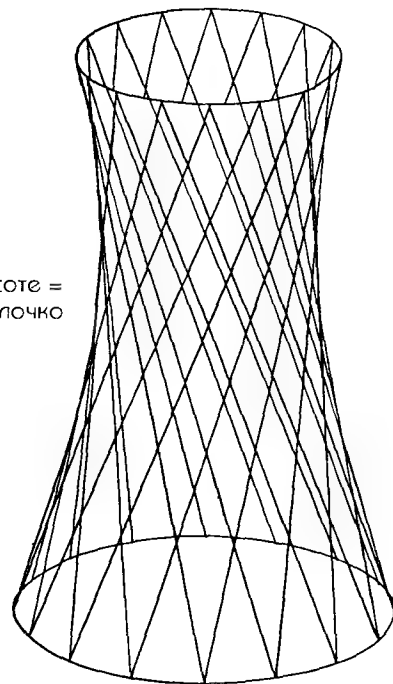
Система, активная по  
поверхности = оболочка

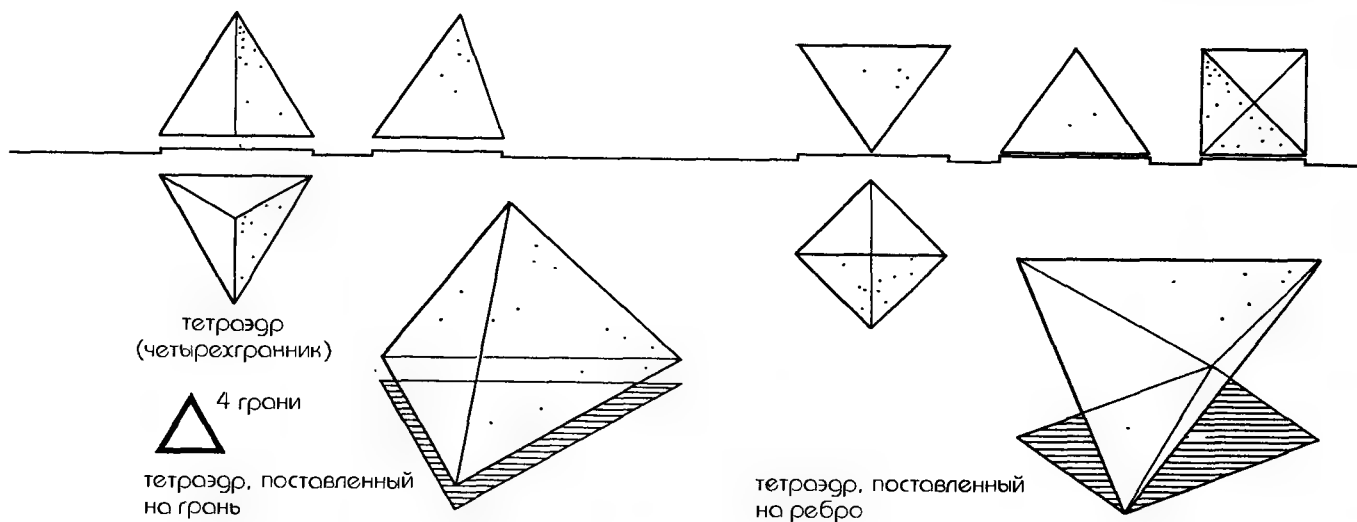
пример



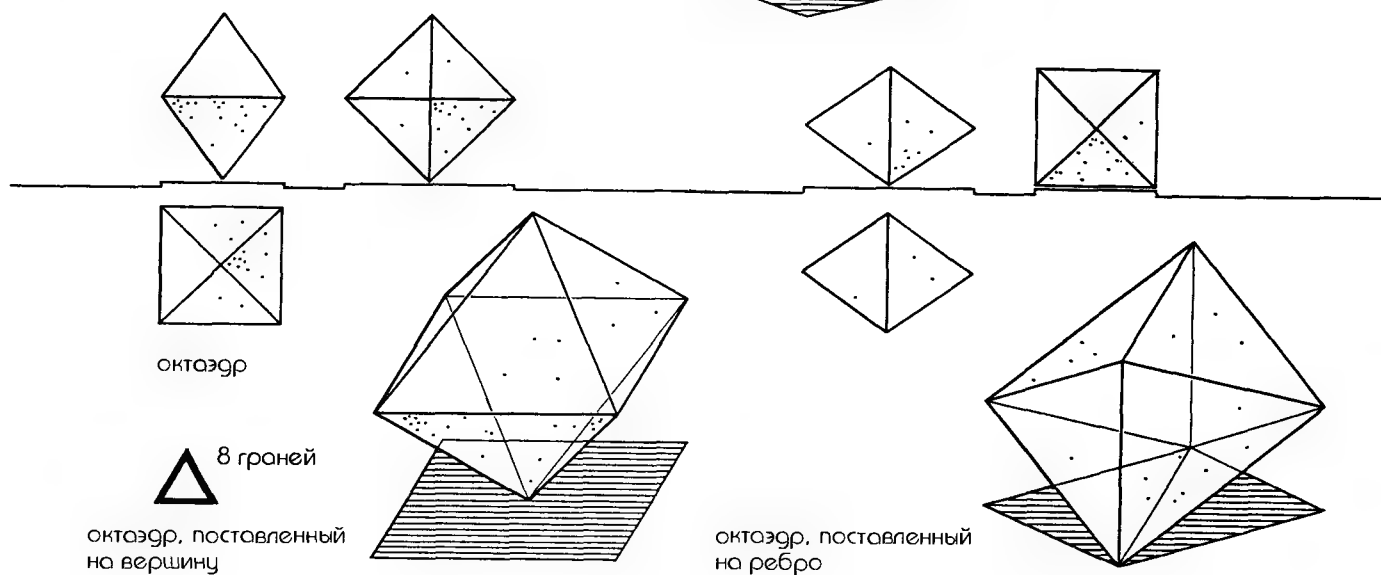
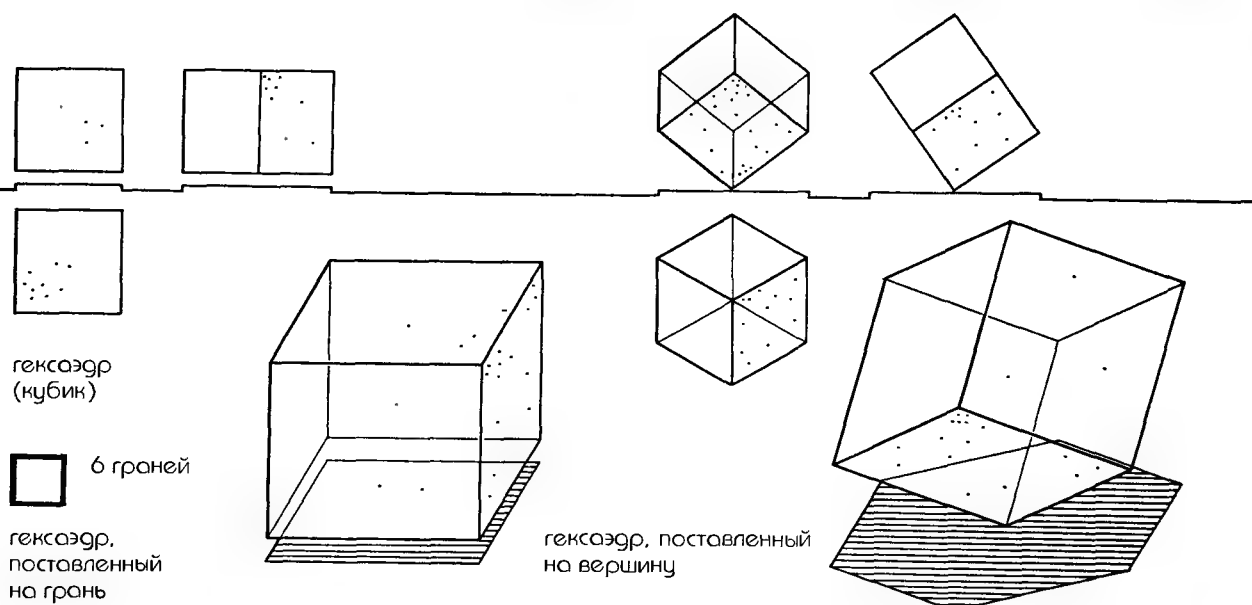
Гиперболоид

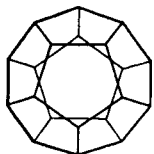
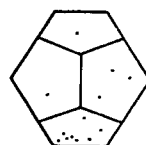
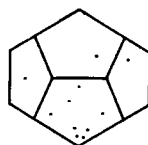
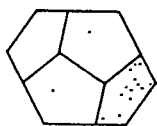
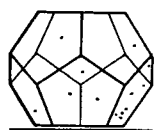
Система, активная по высоте =  
фахверковая оболочка





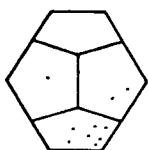
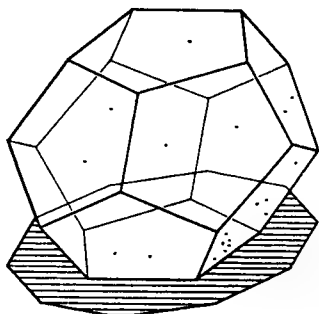
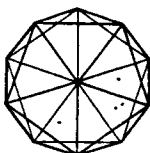
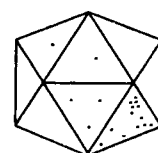
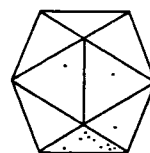
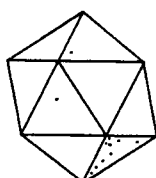
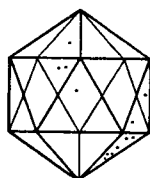
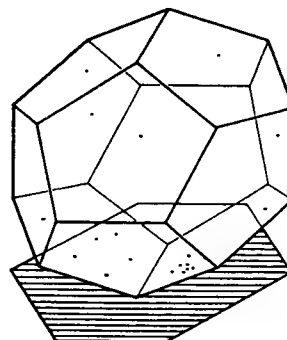
СКЛАДЧАТОСТЬ ОДИНАКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ = ГЕОМЕТРИЯ МНОГОГРАННИКОВ





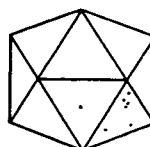
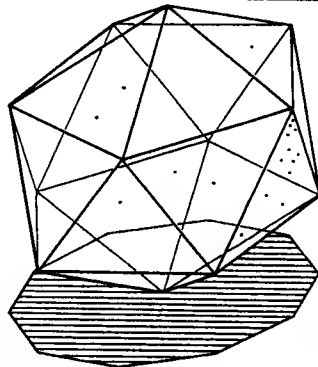
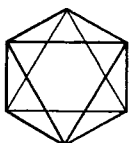
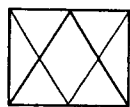
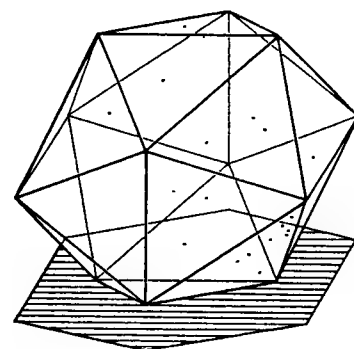
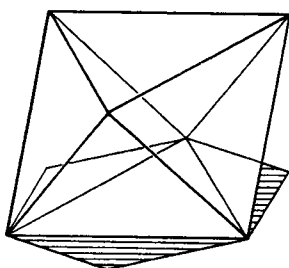
додикаэдр

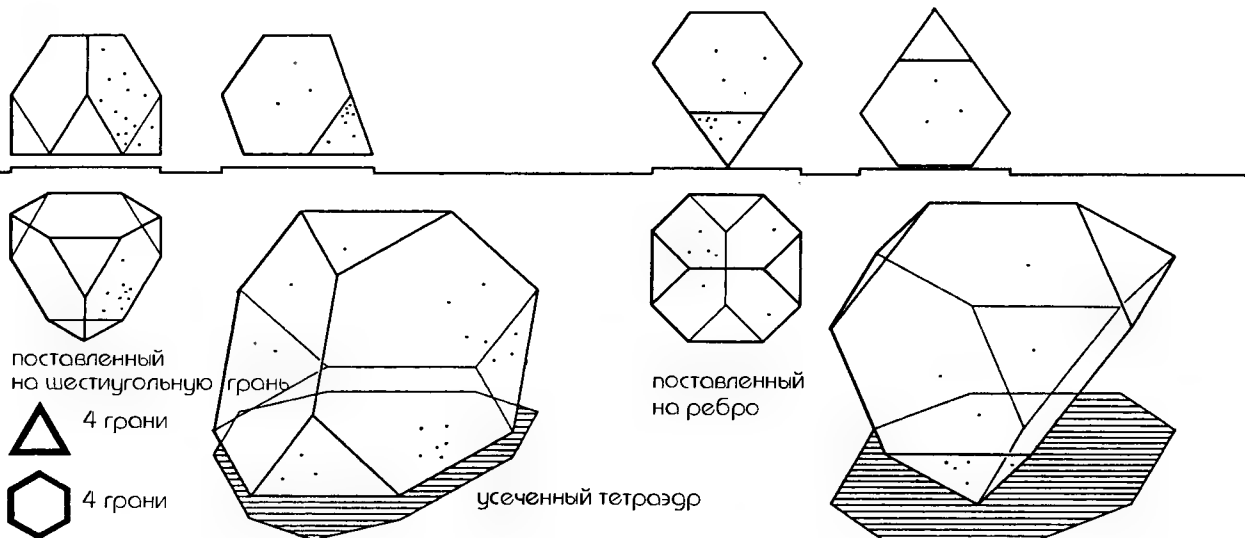
12 граней

додикаэдр,  
поставленный  
на ребрододикаэдр, поставленный  
на грань

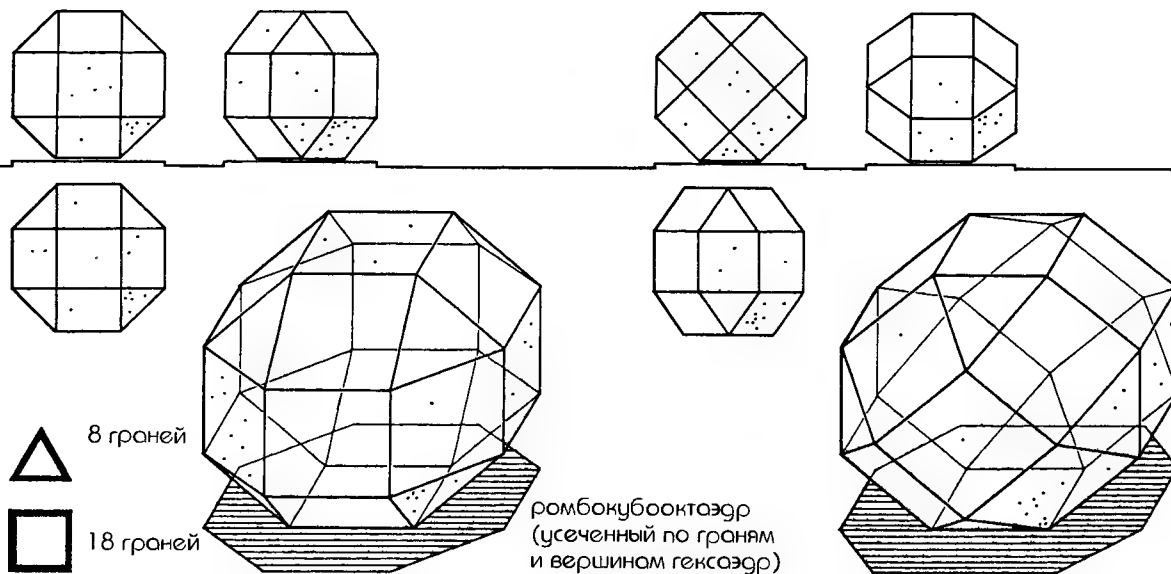
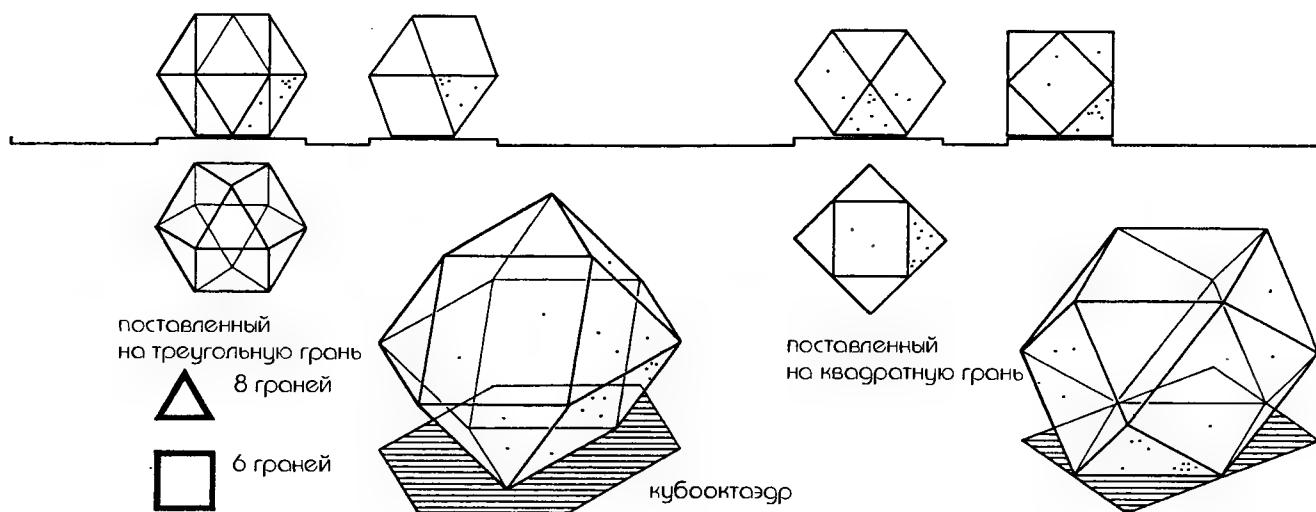
икосаэдр

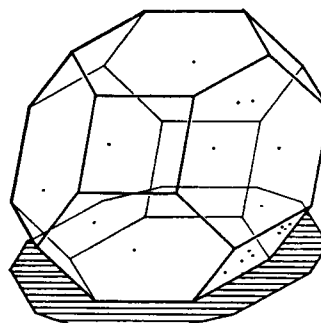
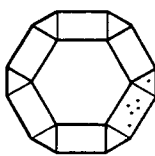
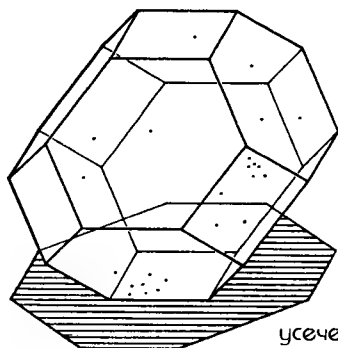
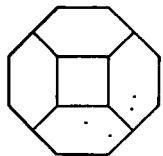
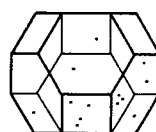
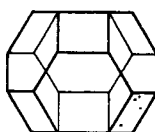
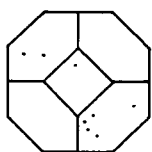
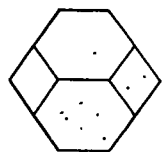
20 граней

икосаэдр,  
поставленный  
на вершинуикосаэдр, поставленный  
на реброоктаэдр,  
поставленный  
на грань



СКЛАДЧАТОСТЬ С ОДИНАКОВЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ = ГЕОМЕТРИЯ МНОГОГРАННИКОВ



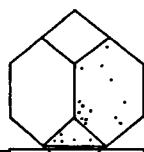
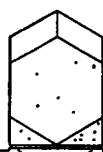


6 граней



8 граней

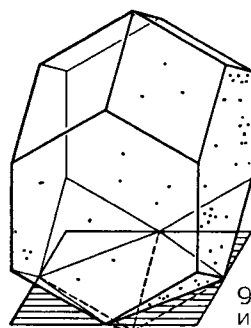
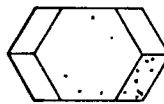
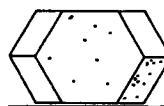
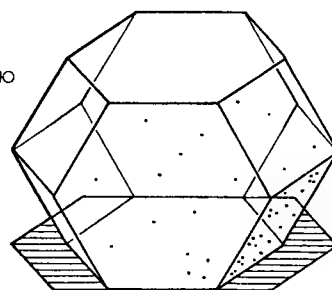
усеченный октаэдр

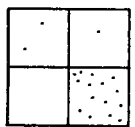
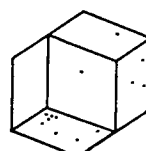
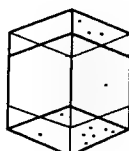
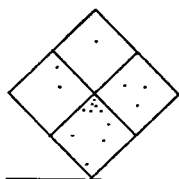
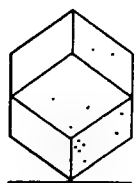
поставленный  
на центральную ось

8 граней



4 грани

додэкаэдр с ромбическими  
и шестиугольными гранямипоставленный  
на шестиугольную  
грань

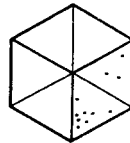
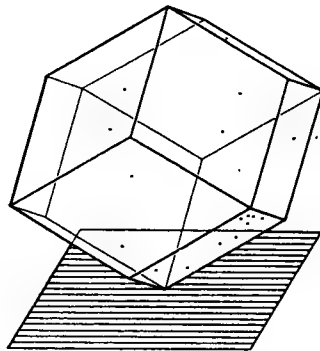


ромбический  
додекаэдр

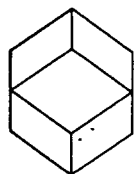
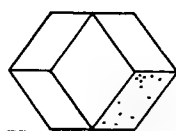
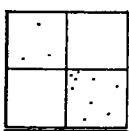
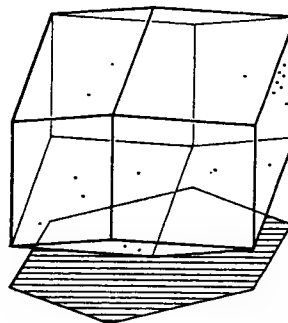


12 граней

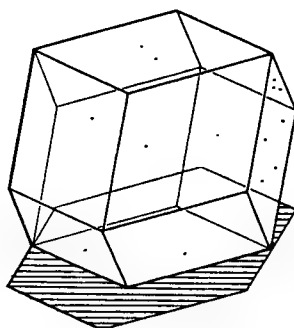
над квадратным  
планом



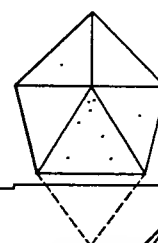
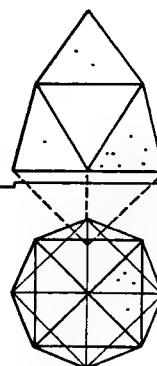
над шестиугольным  
планом



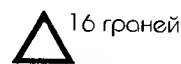
поставленный  
на грань



складчатость с одинаковыми плоскостями =  
геометрия многогранников

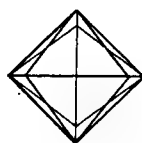
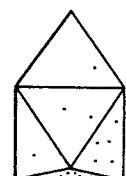
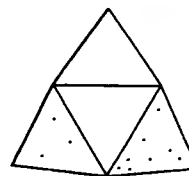
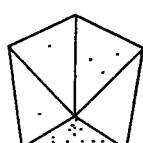
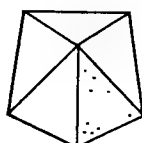
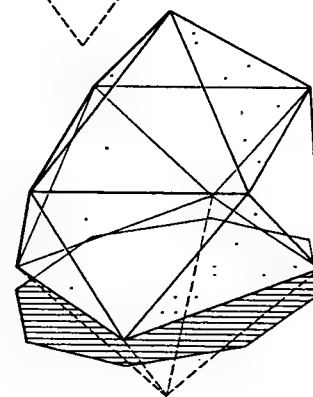


дельтаэдр

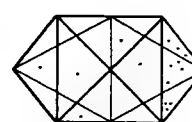
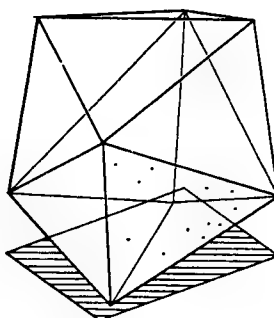


16 граней

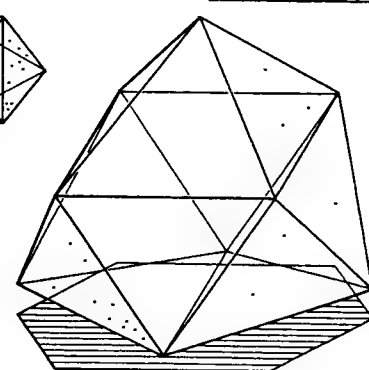
дельтаэдр  
с 16 гранями



12 граней  
дельтаэдр  
с 12 гранями

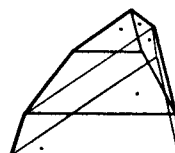
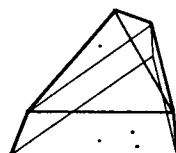
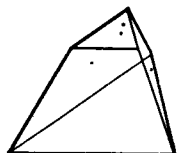
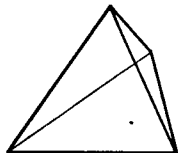
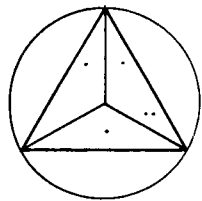


14 гра-  
ней  
дельтаэдр  
с 14 гранями

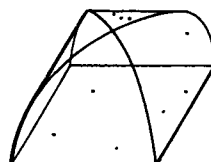
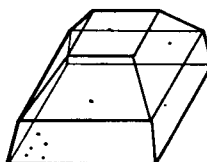
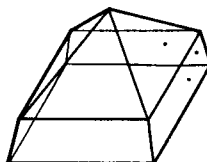
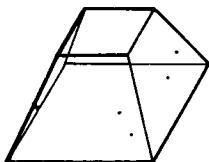
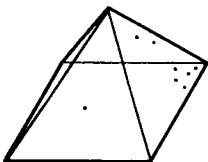
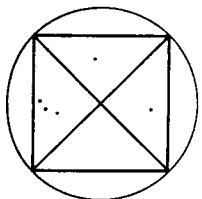


## ПОВЕРХНОСТИ СО СКЛАДКАМИ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ НАД ПЛАНОМ ОСОБОЙ ГЕОМЕТРИИ

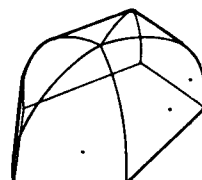
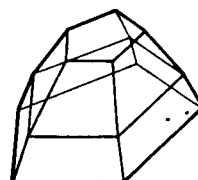
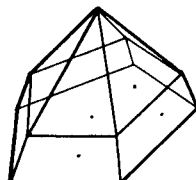
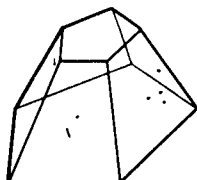
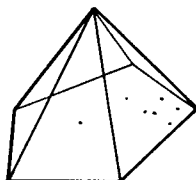
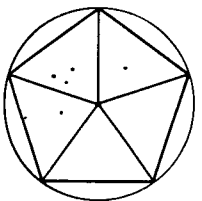
треугольный план



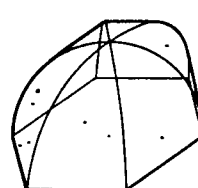
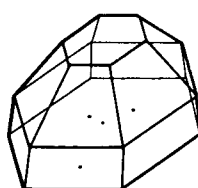
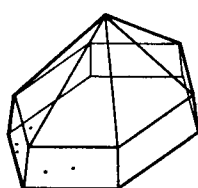
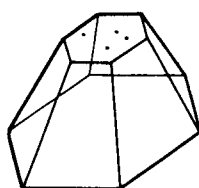
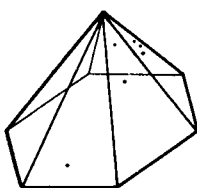
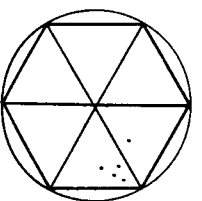
квадратный план



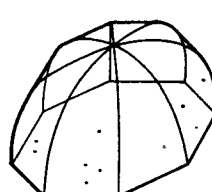
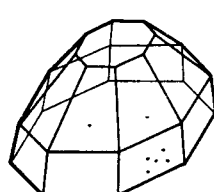
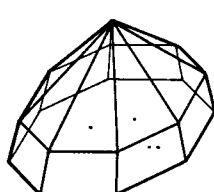
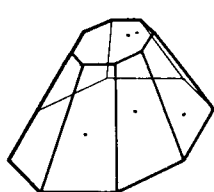
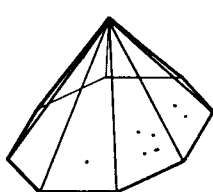
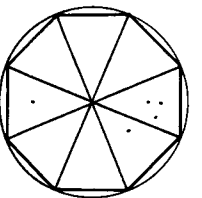
пятиугольный план



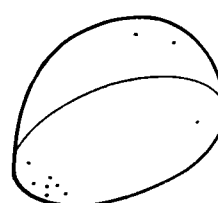
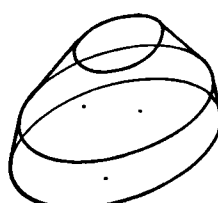
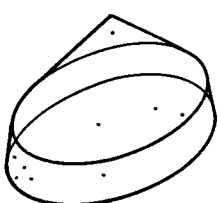
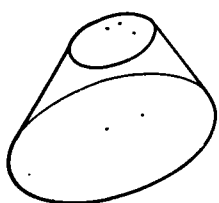
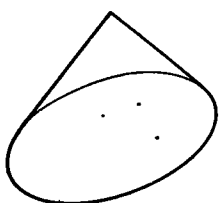
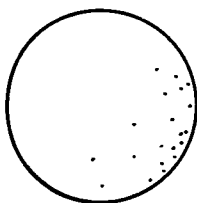
шестиугольный план



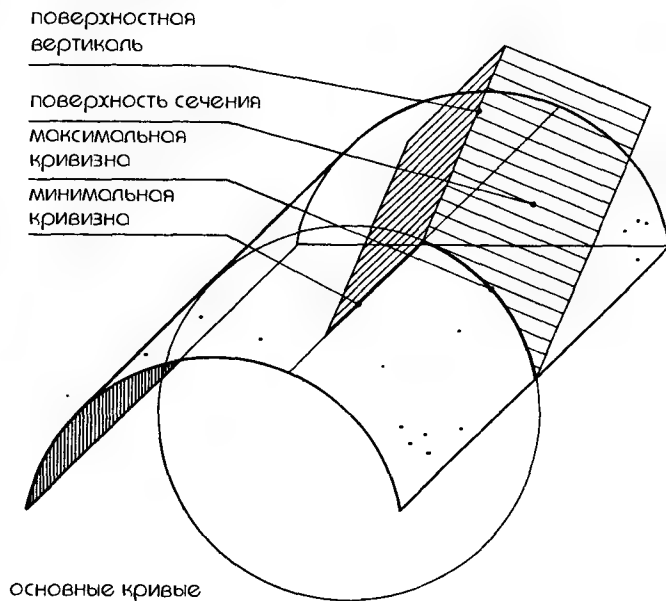
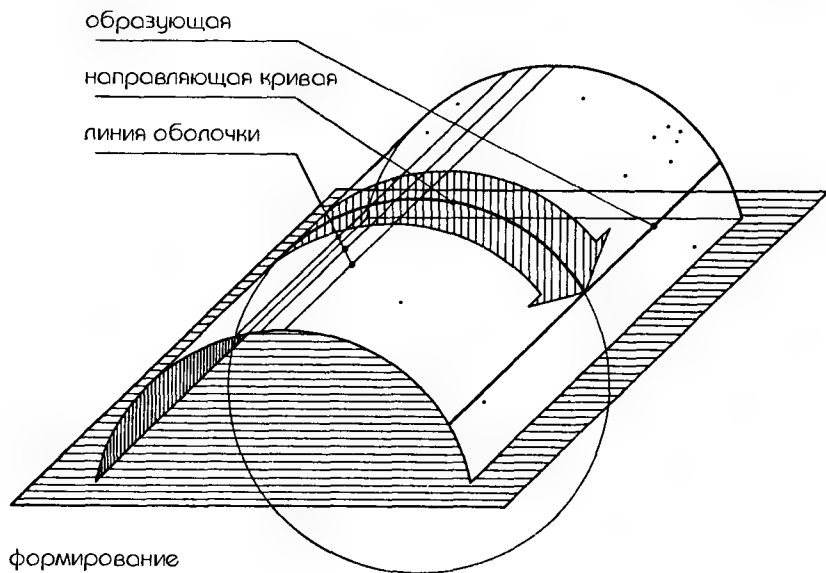
восьмиугольный план



план в форме круга



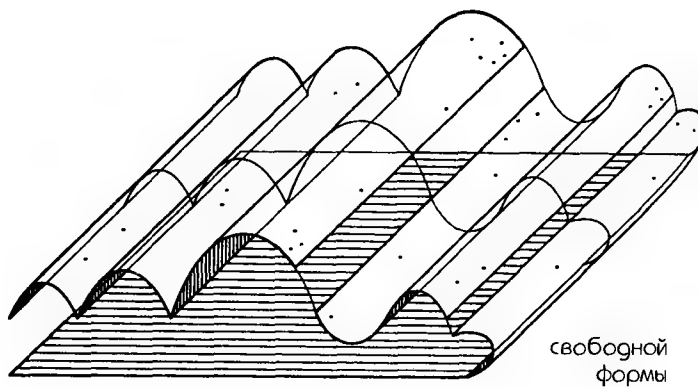
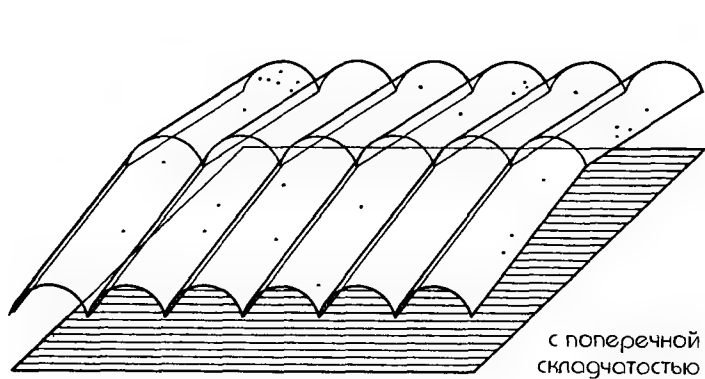
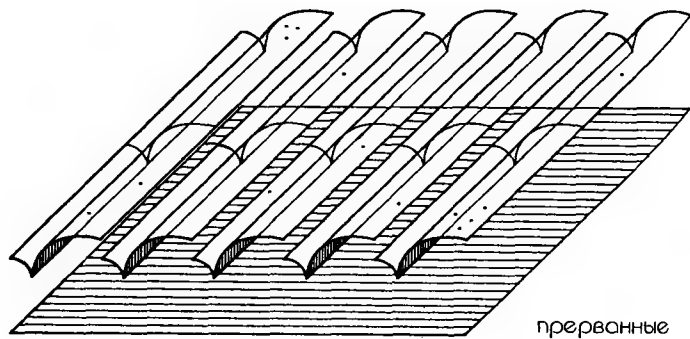
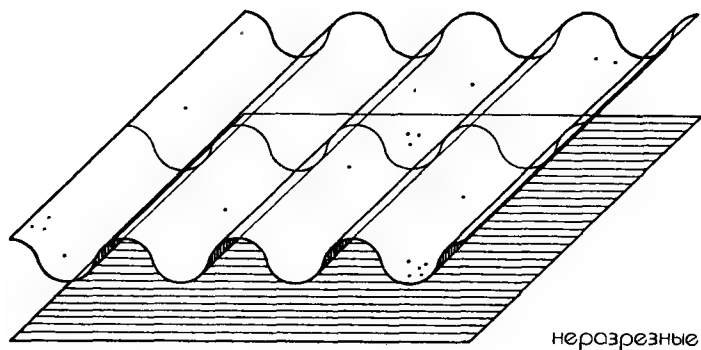
## ГЕОМЕТРИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



Поверхность создается проведением горизонтальной прямой (формообразующей) по направляющей кривой, которая лежит в плоскости, находящейся под прямым углом к формообразующей.

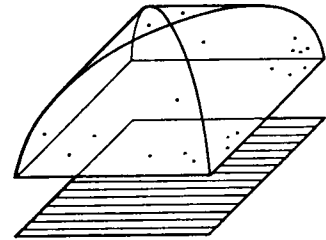
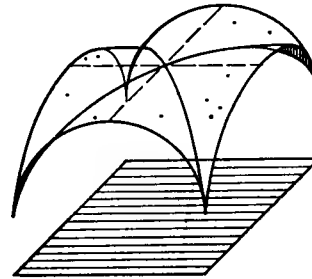
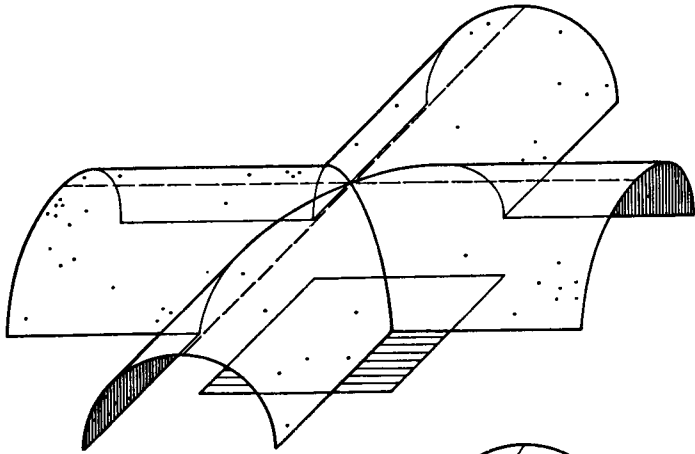
Максимальная кривизна точки поверхности задана направляющей кривой, минимальная – образующей, т. е. она равна нулю.

## РЯД ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ ПЕРЕКРЫТИЯ БОЛЬШИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

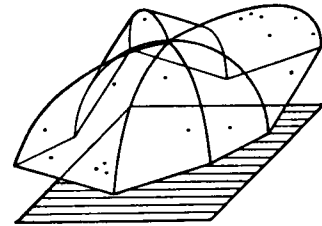
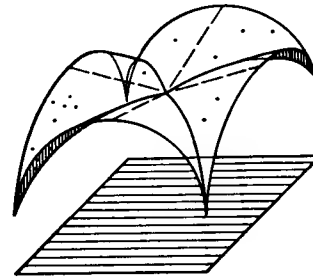
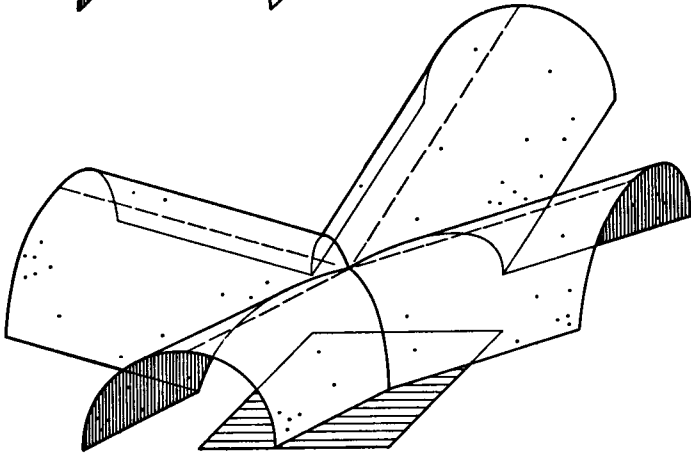




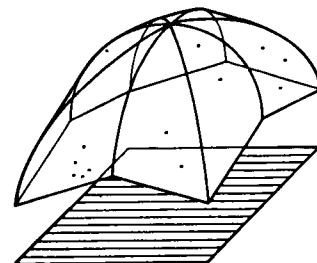
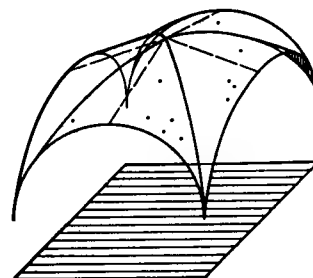
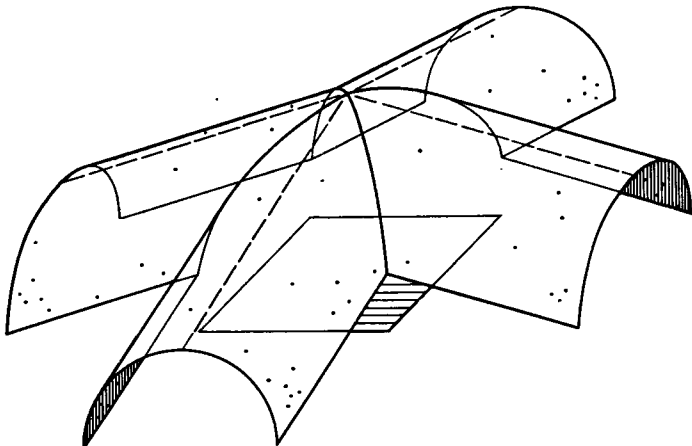
## НЕСУЩАЯ СИСТЕМА ИЗ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



образующие поверхности в одном уровне

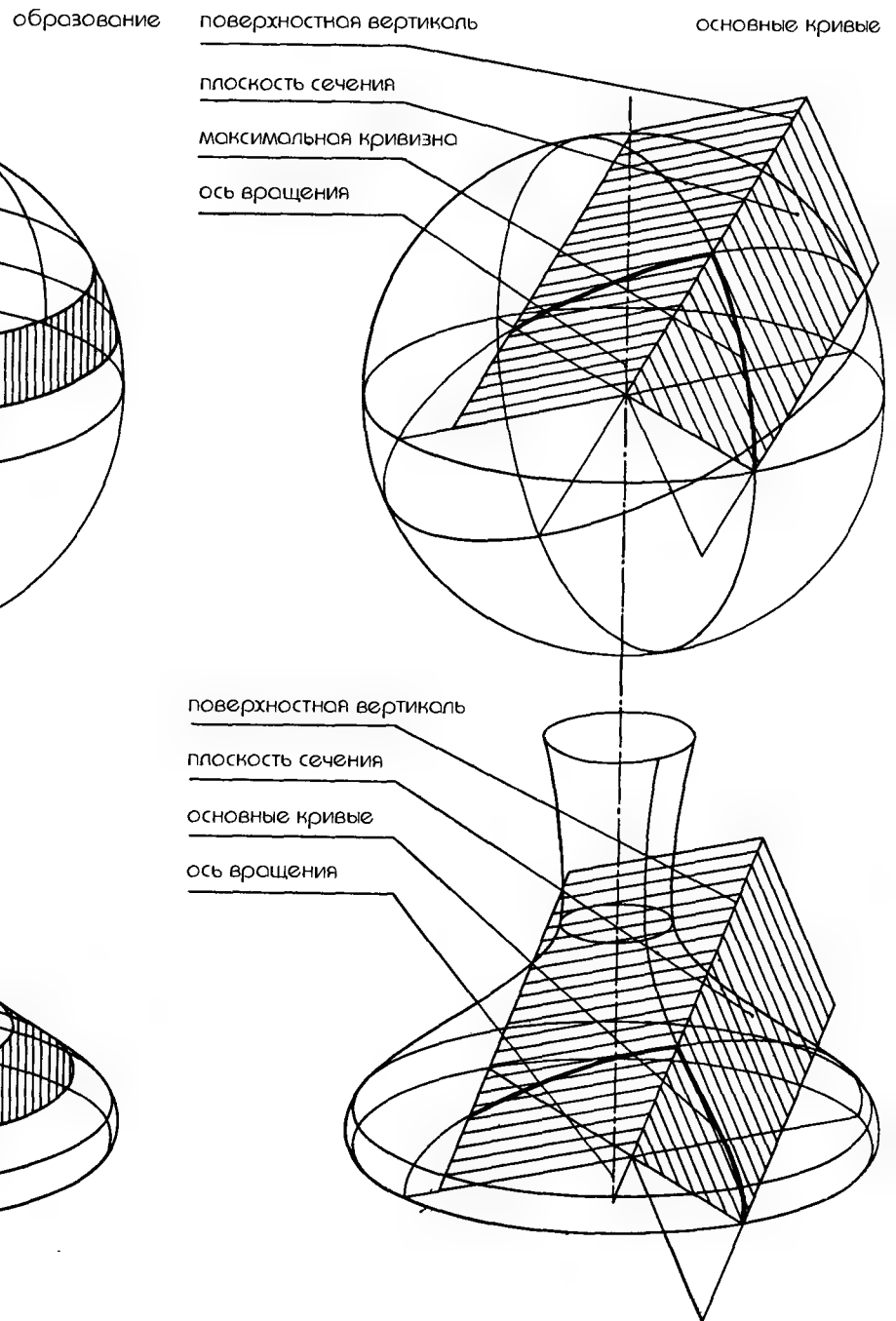
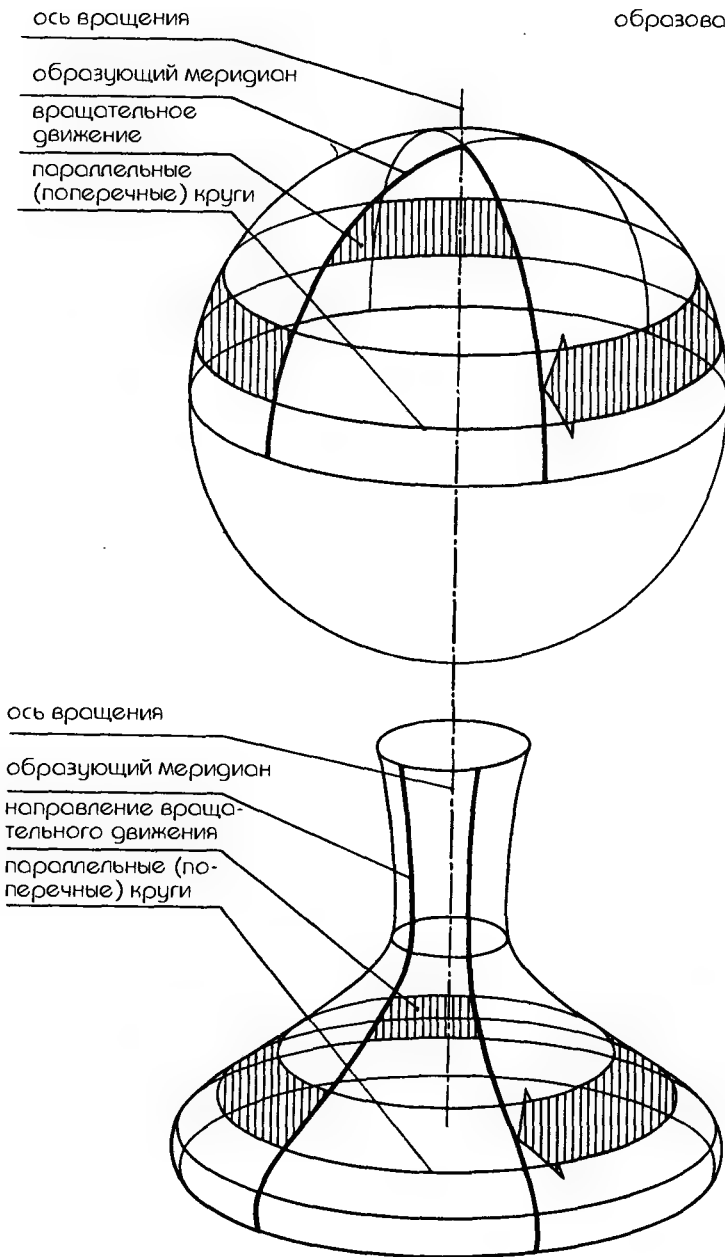


образующие, нисходящие к центру



образующие, восходящие к центру

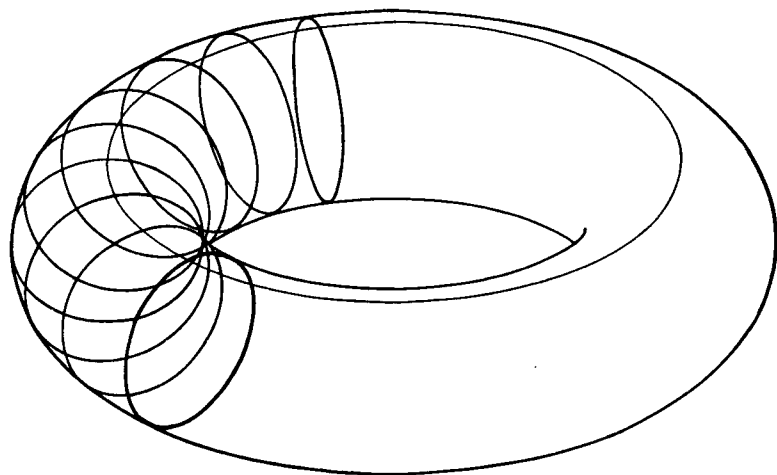
## ГЕОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ = ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ



Поверхность создается путем вращения плоской кривой геометрической или свободной формы (меридиан) вокруг вертикальной оси. Все горизонтальные кривые сечения – это круги.

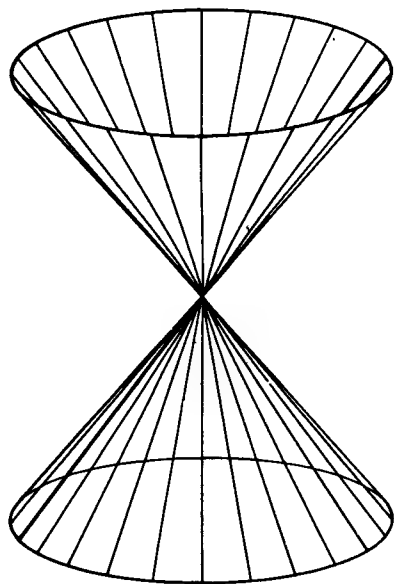
Одна основная кривая задана меридианом, другая – пересечением с плоскостью, которая проходит через поверхность вертикаль перпендикулярно плоскости меридиана.

## ОСОБЫЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ

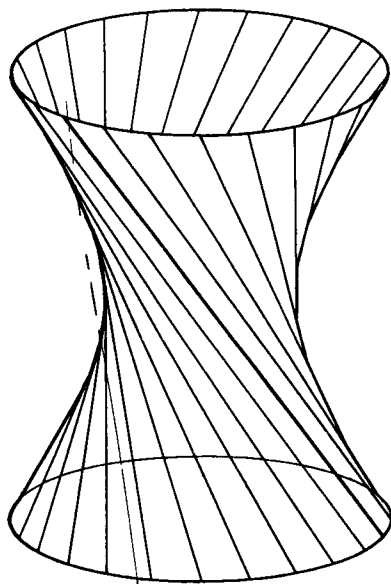


Если образующая — круг и ось вращения лежит в плоскости круга, но по касательной к нему или за его пределами, то по кругу возникает кольцевая поверхность, круглый воллик-тор

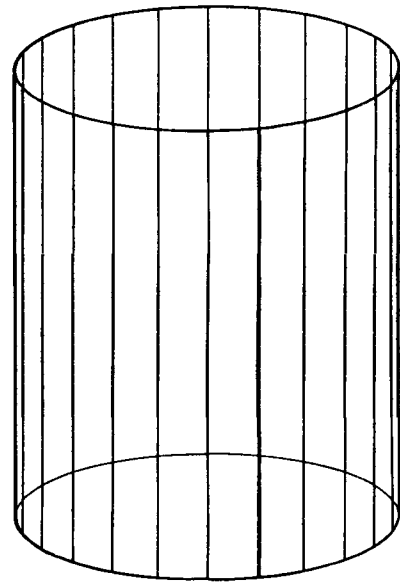
кольцевые поверхности по кругу — поверхность тора



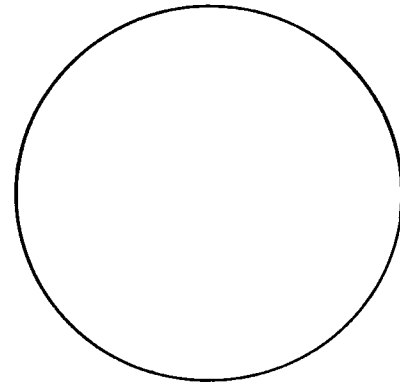
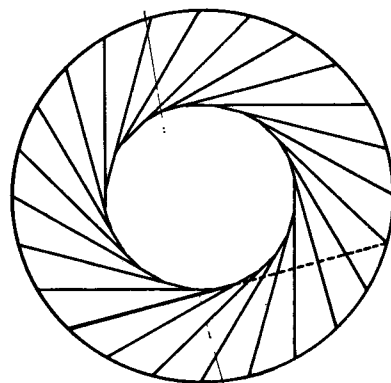
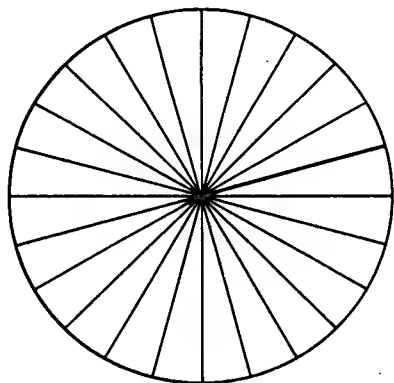
перевернутый конус



гиперболоид



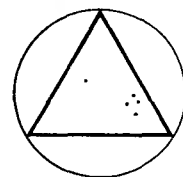
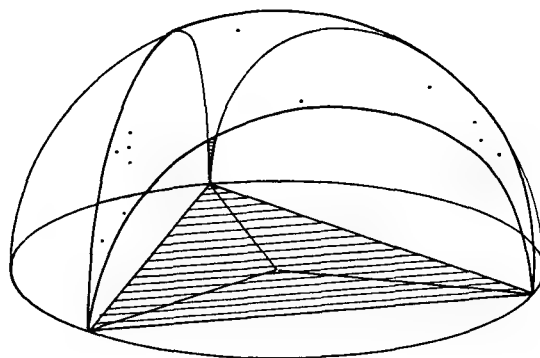
цилиндр



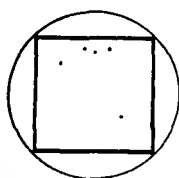
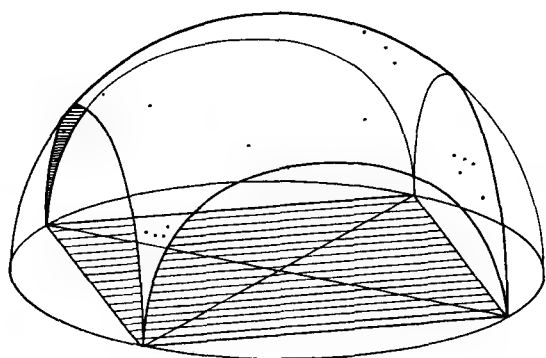
Если образующая — прямая, то в зависимости от ее положения в пространстве по отношению к оси вращения получа-

ются типичные поверхности: конус, гиперболоид или цилиндр.

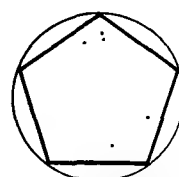
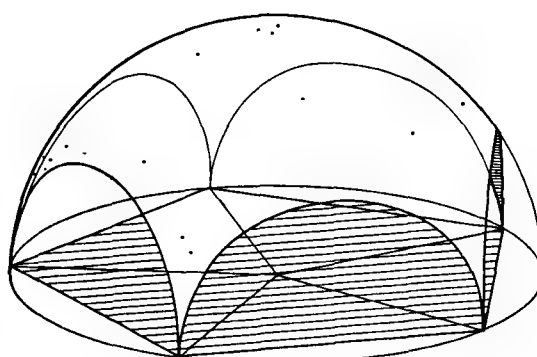
## ПОЛУСФЕРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПЛАНА



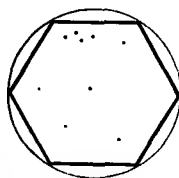
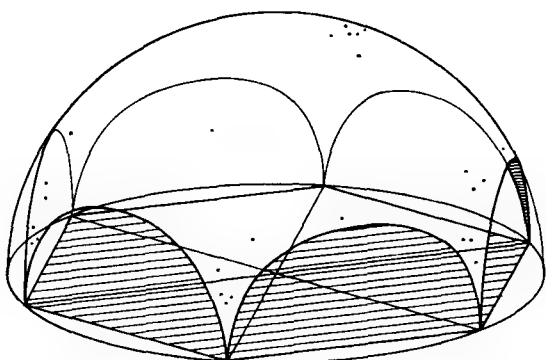
план в виде  
треугольника



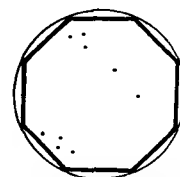
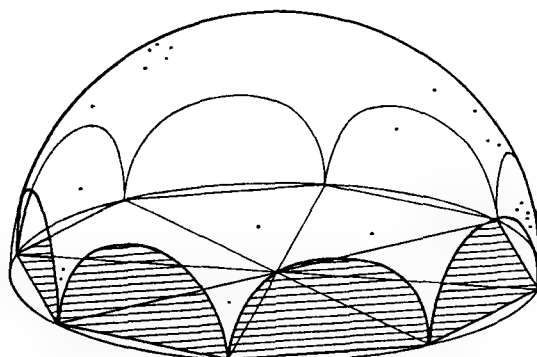
план в виде  
квадрата



план в виде  
пятиугольника

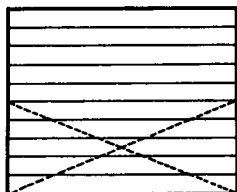


план в виде  
шестиугольника

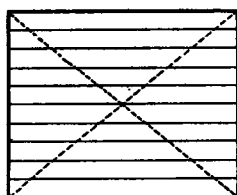
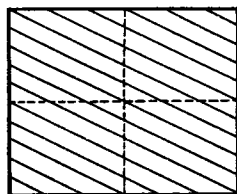
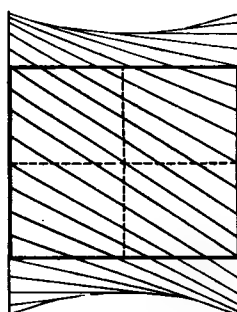


план в виде  
восьмиугольника

ОБРАЗОВАНИЕ СЕДЛОВИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
С ПОМОЩЬЮ ПРЯМЫХ = АНТИКЛАСТИЧЕСКИЕ  
РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ

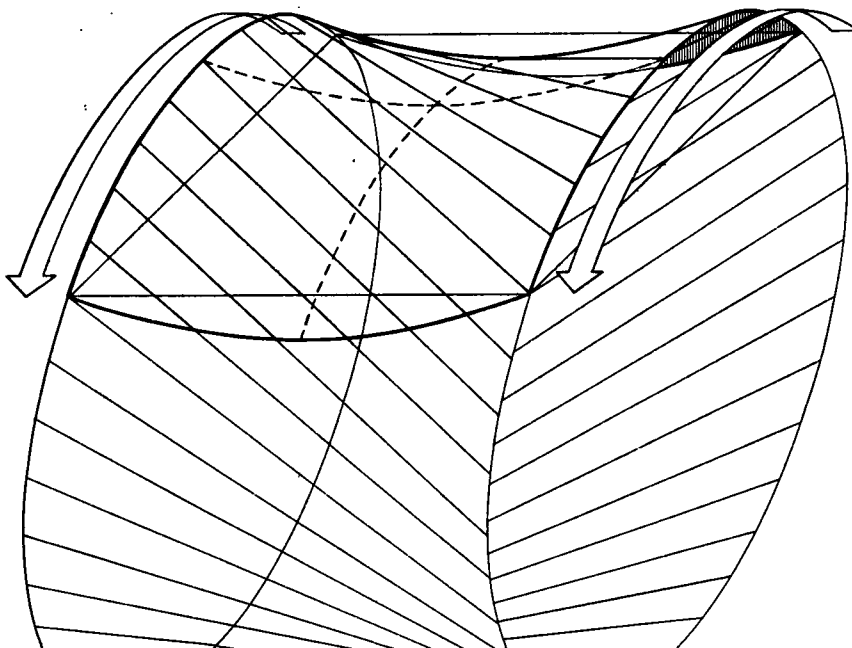
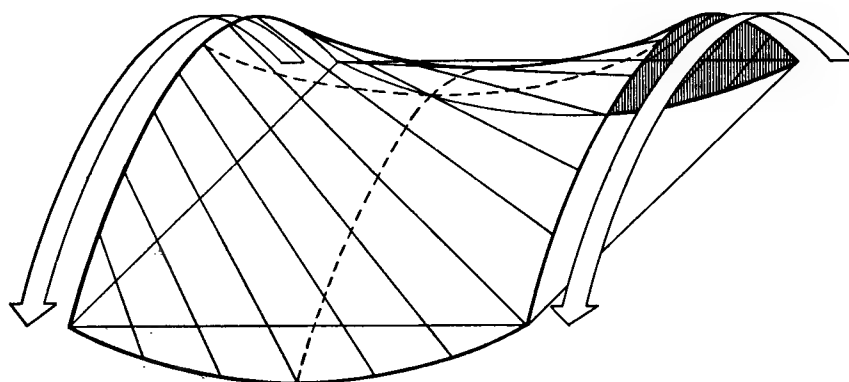
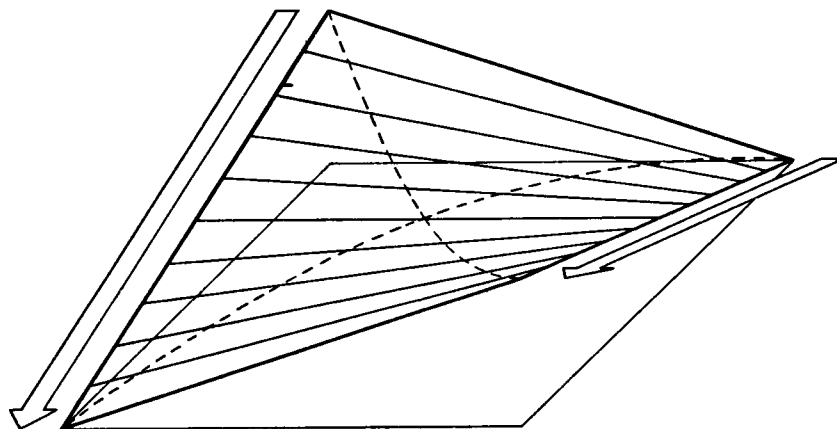
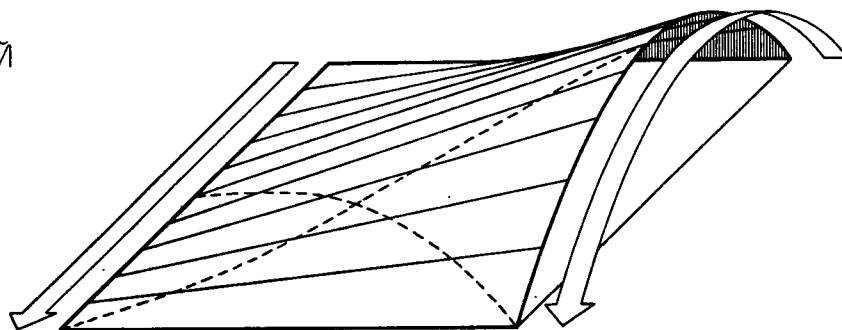


коноид

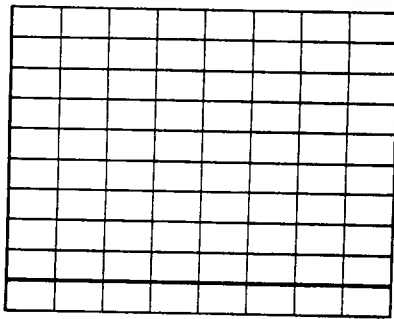
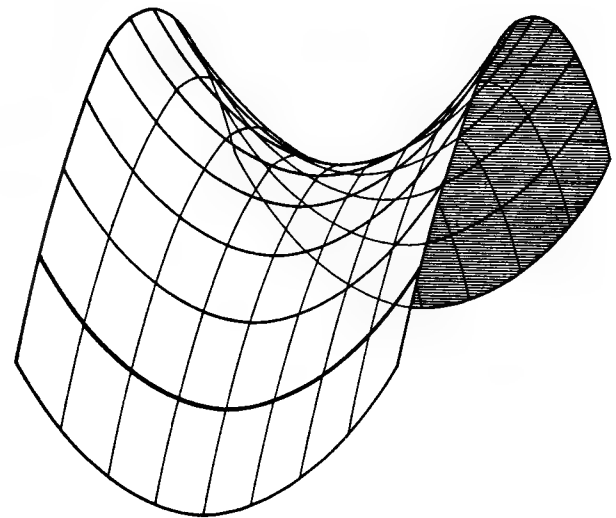
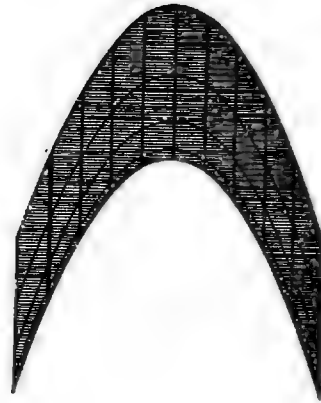
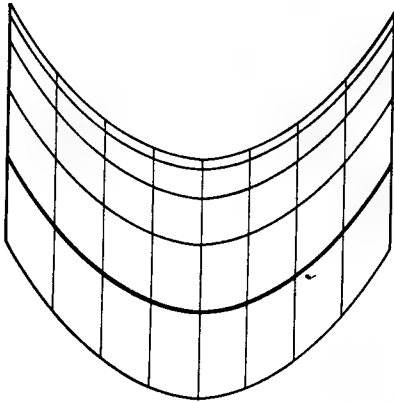
гиперболический  
параболоид – гипоргиперболический  
параболоид – гипор

гиперболоид

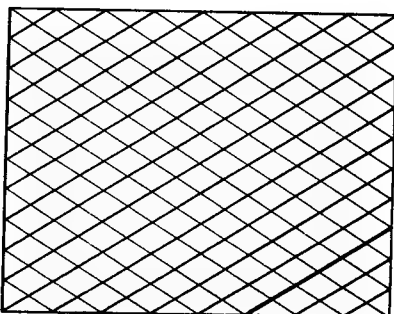
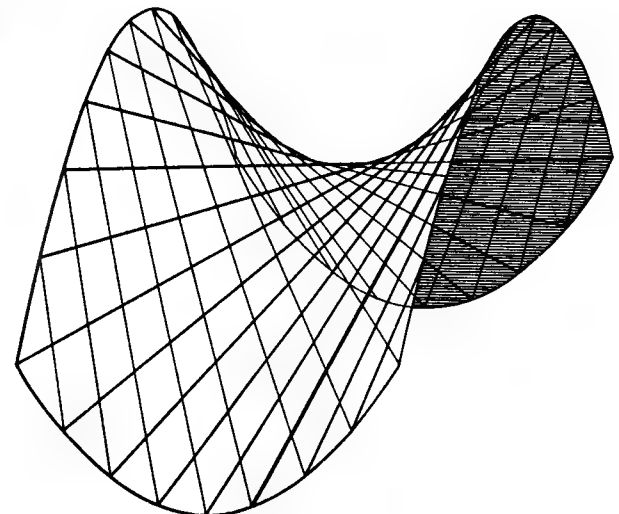
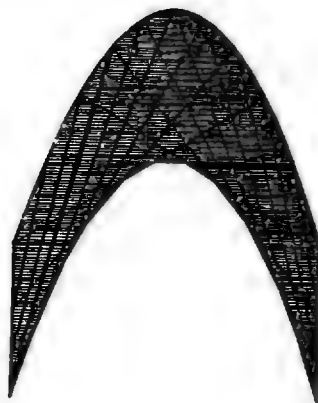
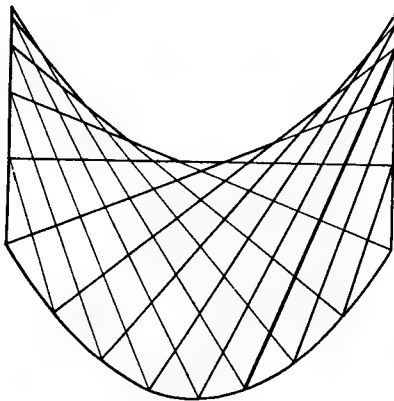
Регулирующая поверхность получается,  
если прямая (образующая) перемещается  
по двум неподвижным кривым или прямым  
(направляющие кривые).



## ОБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГИПАРА (ГИПЕРБОЛИЧЕСКИ-ПАРАБОЛОИДНЫХ)

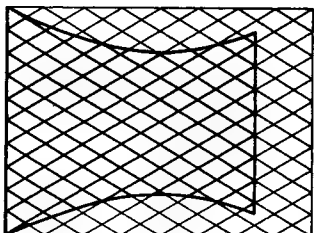
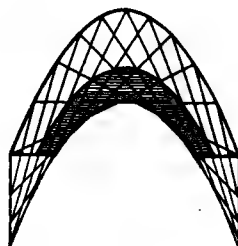
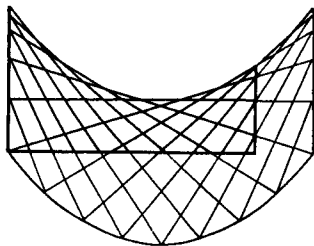


Получение передающей поверхности = висящая парабола (образующая) над стоящей параболой (направляющая кривая) – или наоборот

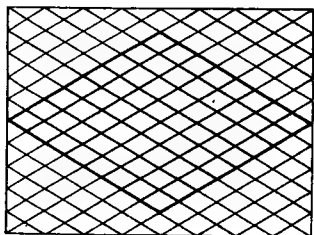
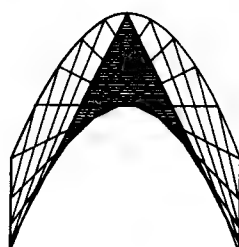
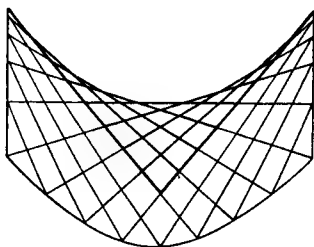
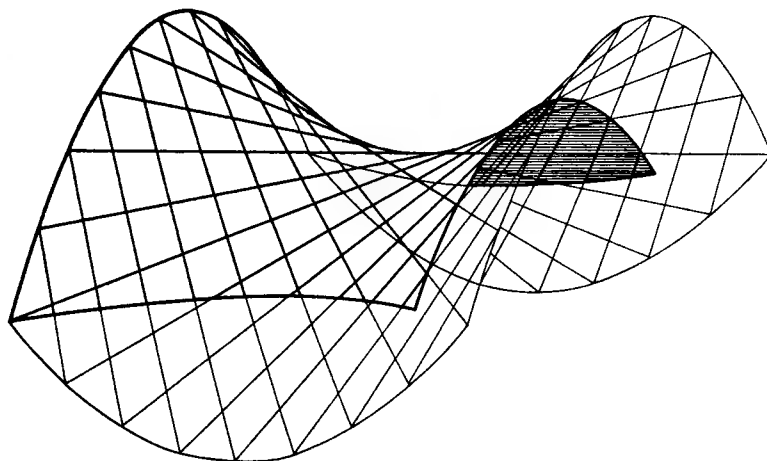


Получение регулирующей поверхности = прямая (образующая) проводится над двумя параболой или двумя прямыми, находящимися не в одной плоскости (направляющие кривые).

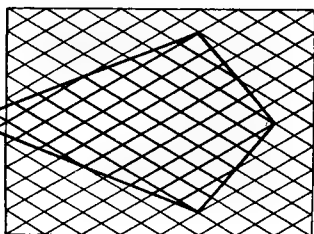
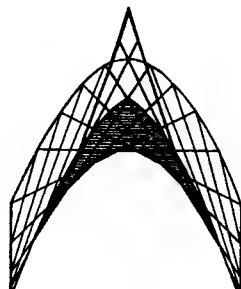
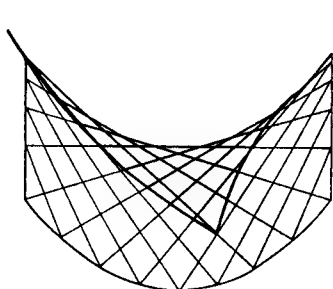
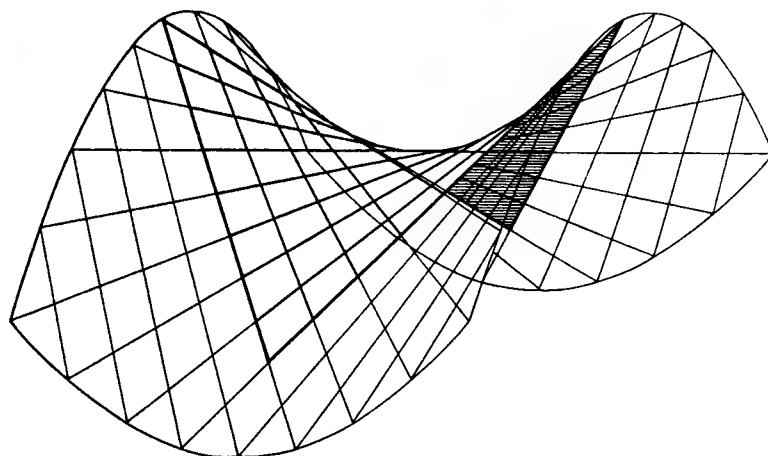
## КРИВАЯ СЕЧЕНИЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИ-ПАРАБОЛОИДОЙ ПОВЕРХНОСТИ – ГИПАРА



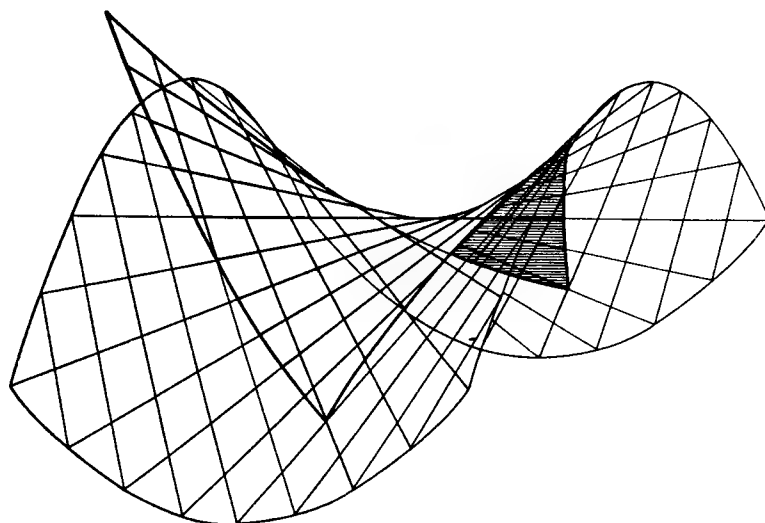
Вертикальные сечения  
дают параболы, горизон-  
тальные – гиперболы.



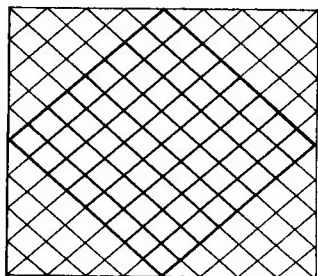
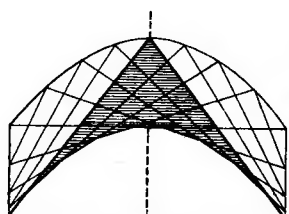
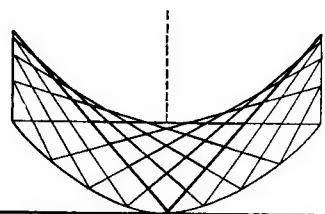
Вертикальные сечения,  
параллельные образу-  
ющей (объяснение регу-  
лирующей поверхности),  
дают прямую.



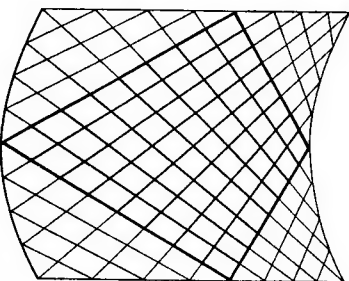
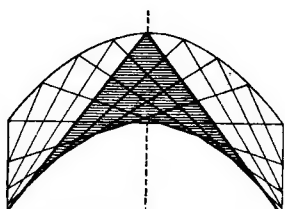
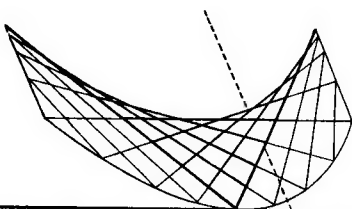
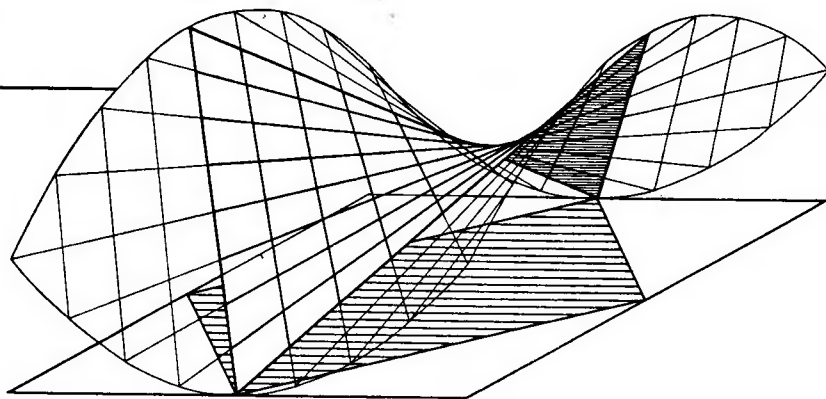
Вертикальные сечения по-  
д углом к образующей дают  
выпуклые и/или вогнутые  
параболы.



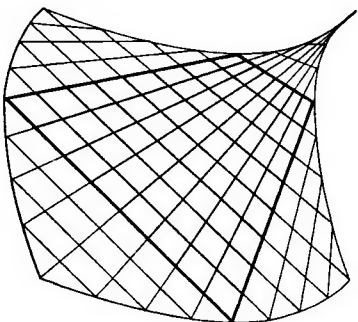
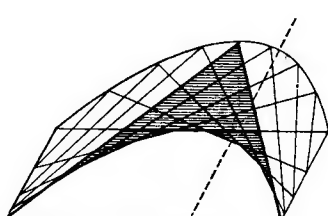
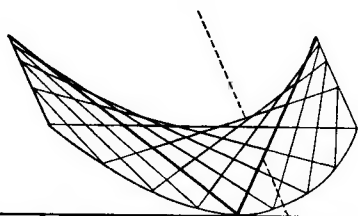
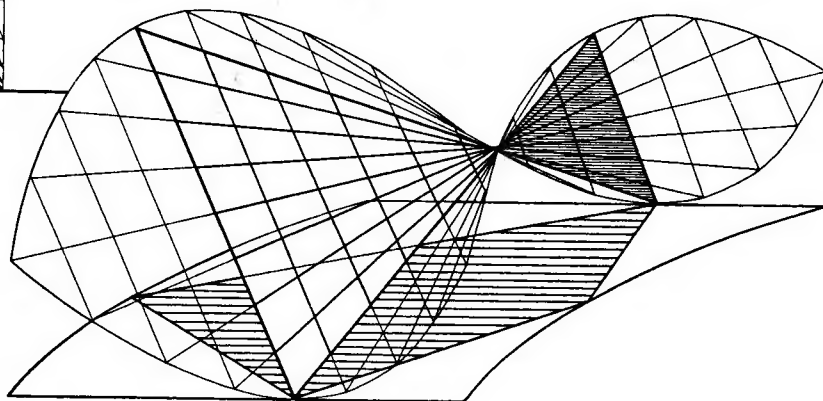
## ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОСИ ГИПАРА В ПРОСТРАНСТВЕ НА ФОРМУ ПОВЕРХНОСТИ И ПЛАН



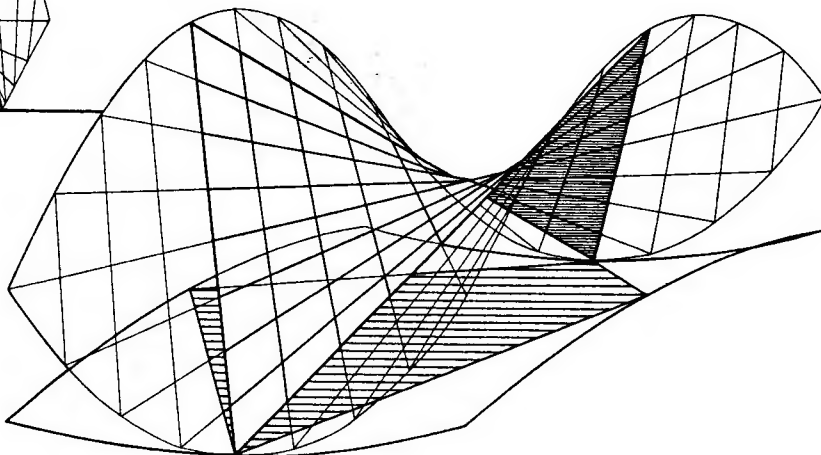
ось гипара вертикальна  
в двух проекциях



ось гипара наклонена  
в одной проекции

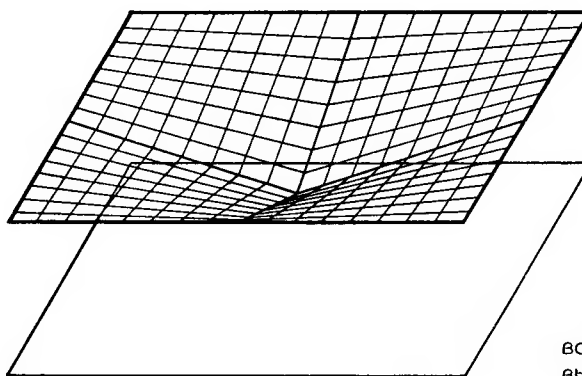
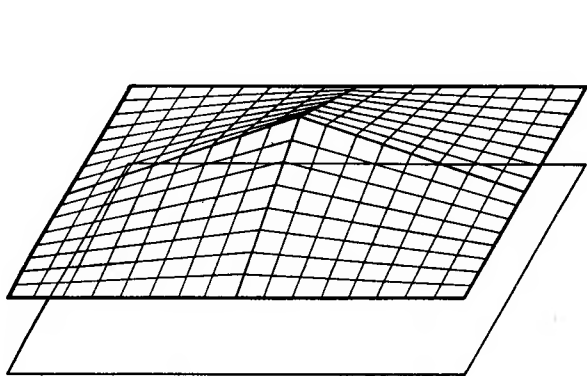


ось гипара наклонена  
в двух проекциях

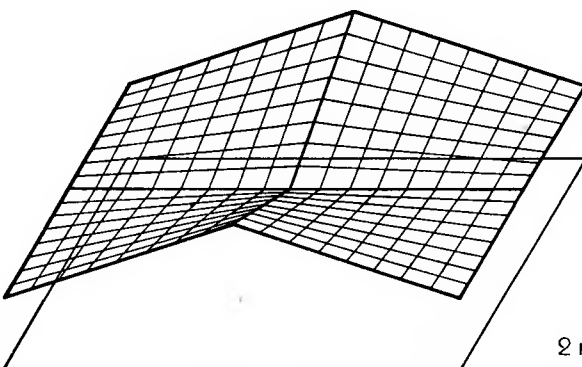
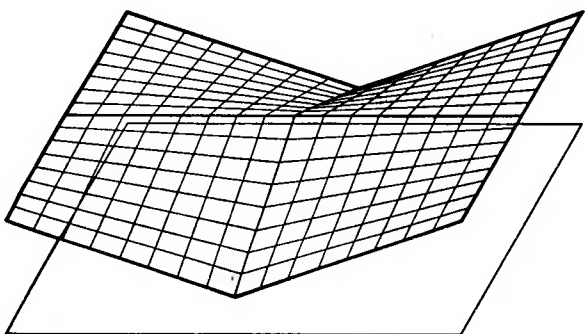




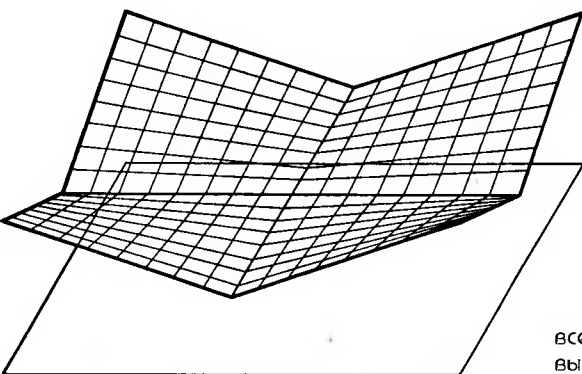
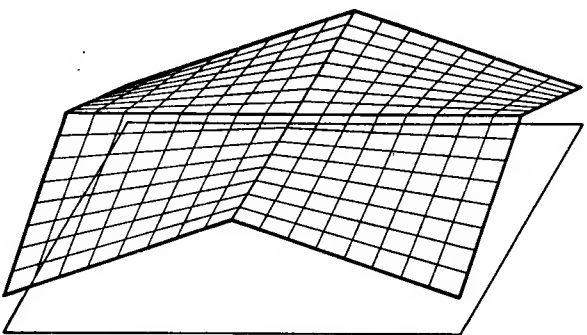
## КОМПОЗИЦИЯ ИЗ ЧЕТЫРЕХ ГИПАРОВ НАД КВАДРАТНЫМ ПЛАНОМ



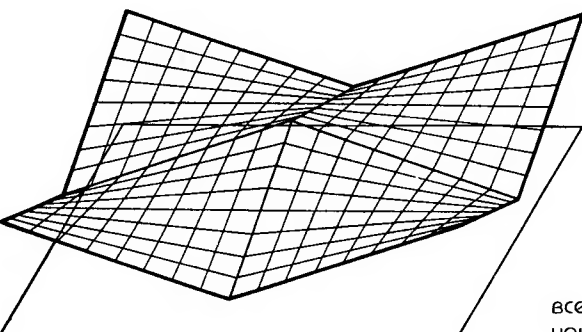
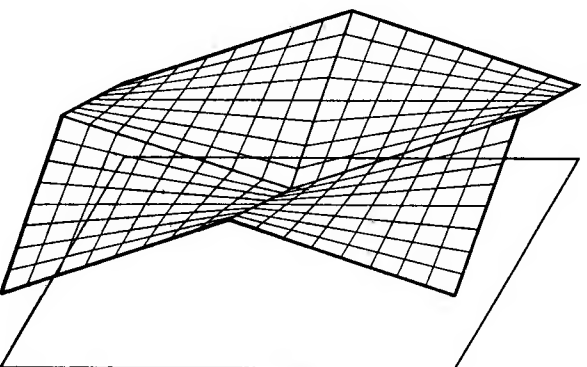
все 4 кромки на одной  
высоте



2 кромки и 2 складки  
на одной высоте



все 4 складки на одной  
высоте



все кромки и складки  
наклонены

- Ackermann, Kurt: Tragwerke in der konstruktiven Architektur. Stuttgart 1988
- Ambrose, James: Structure Primer. Los Angeles, Cal. 1963
- Ambrose, James: Building Structures. New York 1993
- Angerer, Fred: Bauen mit tragenden Flächen. München 1960. (Sur-face Structures in Building, New York 1961)
- Bachmann, Hugo: Hochbau für Ingenieure. Stuttgart 1994
- Becker, Gerd: Tragkonstruktionen des Hochbaues, Teil 1. Konstruktionsgrundlagen. Düsseldorf 1983
- Bill, Max: Robert Maillart, Brücken und Konstruktionen. Zürich 1965
- Borrego, John: Skeletal Frameworks and Stressed Skin Systems. Cambridge Mass. 1968
- Brennecke, Wolfgang / Folkerts, Heiko / Haferland, Friedrich / Hart, Franz: Dachatlas. München 1975
- Büttner, Oskar / Hampe, Erhard: Bauwerk Tragwerk Tragstruktur. Band 1 und 2, Berlin 1977 und 1984
- Catalano, Eduardo: Structures of Warped Surfaces, Raleigh, N.C.; Student Publication vol. 19, no. 1
- Contini, Edgardo: Design and Structure. New York; Progressive Architecture 1958
- Cowan, Henry J. / Wilson, Forrest: Structural Systems. New York 1981
- Corkill / Puderbaugh / Sawyers: Structure and Architectural Design. Eldridge, Iowa 1984
- Critchlow, Keith: Order in Space. New York 1978
- Domke, Helmut: Grundlagen konstruktiver Gestaltung. Wiesbaden Berlin 1972
- Dubas & Gehri: Stahlhochbau. 1988
- Faber, Colin: Candela – the Shell Builder. New York 1963. (Candela und seine Schalenbauten. München 1964)
- Feininger, Andreas: Anatomy of Nature. New York 1956.
- Führer, Wilfried / Ingendaaij, Susanne / Stein, Friedhelm: Der Entwurf von Trag werken. Köln-Braunsfeld 1984
- Gheorghiu, Adrian / Dragomir, Virgil: Geometry of Structural Forms. London 1978
- Götz, Karl-Heinz / Hoor, Dieter / Möhler, Karl / Natterer, Julius: Holzbau-Atlas. München 1978
- Hart, Franz: Kunst und Technik der Wölbung. München 1965
- Hart, Franz / Henn, Walter / Sonntag, Hansjürgen: Stahlbauatlas. Augsburg / Köln 1982
- Heidegger, Martin: Die Frage nach der Technik. Tübingen 1954
- Herget, Werner: Tragwerkslehre. Stuttgart 1993
- Herzog, Thomas: Pneumatische Konstruktionen. Stuttgart 1976
- Howard, Seymour: Structural Forms. New York; Architectural Record 1951–1961
- IL 21: Grundlagen – Basics. Stuttgart 1979
- IL 27: Natürlich Bauen. Stuttgart 1980
- IL 32: Leichtbau in Architektur und Natur. Stuttgart 1983
- Joedicke, Jürgen: Schalenbau. Stuttgart 1962
- Klinckowstroem, Carl Graf von: Geschichte der Technik. München/Zürich 1959
- Kraus, Franz / Führer, Wilfried / Neukäter, Hans-Joachim: Grundlagen der Tragwerklehre 1. Köln – Braunsfeld 1980
- Krauss, Franz / Willems, Claus Christian: Grundlagen der Tragwerklehre 2. Köln – Braunsfeld
- Leder, Gerhard: Hochbaukonstruktionen, Band 1: Tragwerke. Berlin 1985
- Mann, Walther: Vorlesungen über Statik und Fertigkeitslehre. Stuttgart 1986
- Marks, Robert W.: The Dymaxion World of Buckminster Fuller. New York 1960
- Maskowski, Z.S.: Raumtragwerke. Berlin; Bauwelt 1965
- Mengeringhausen, Max: Raumfachwerke aus Stäben und Knoten. Würzburg 1975
- Nervi, Pier Luigi: Structures. New York 1956
- Nervi, Pier Luigi: Neue Strukturen. Stuttgart 1963
- Ortega y Gasset, José: Betrachtungen über die Technik. Stuttgart 1949
- Otto, Frei: Das Hängende Dach, Gestalt und Struktur. Berlin 1954
- Otto, Frei: Lightweight Structures. Berkeley, Cal. 1962
- Pflüger, Alf: Elementare Schalenstatik. Berlin – Göttingen – Heidelberg 1960. (Elementary Statics of Shells. New York 1961)
- Rapp, Robert: Space Structures in Steel. New York 1961
- Roland, Conrad: Frei Otto – Spannweiten. Berlin – Frankfurt 1965
- Rosenthal, H. Werner: Structure. London 1972
- Salvadori, Mario: Teaching Structures to Architects. Greenville, S.C.; Journal of Architectural Education 1958
- Salvadori, Mario with Heller, Robert: Structure in Architecture. Engle-wood Cliffs, N.J., 1963
- Salvadori, Mario: Why Buildings Stand up. New York 1980
- Sandacker, Björn Norman / Eggen, Arne Petter: Die konstruktiven Prinzipien der Architektur. Basel 1994
- Schadewaldt, Wolfgang: Natur – Technik – Kunst. Göttingen – Berlin – Frankfurt 1960
- Siegel, Curt: Strukturformen der Modernen Architektur. München 1960. (Structure and Form in Modern Architecture. New York 1961)
- Timber Companion: Kukan Kozu e no Appurochi. Tokyo 1990
- Torroja, Eduardo: Philosophy of Structures. Berkeley – Los Angeles 1953. (Logik der Form. München 1961)
- Wachsmann, Konrad: Wendepunkte im Bauen. Wiesbaden 1959. (The Turning Point of Building. New York 1961)
- Wilson, Forrest: Structure – The Essence of Architecture. New York 1971
- Wormuth, Rüdiger: Grundlagen der Hochbaukonstruktion. Düsseldorf 1977
- Zuk, William: Concepts of Structure. New York 1963



В современном проектировании несущие конструкции являются тем инструментом, с помощью которого можно решать архитектурно-строительные задачи любой степени сложности.

В этом уникальном издании впервые в мировой практике несущие конструкции представлены как целостные СИСТЕМЫ, направленные на достижение гармонии архитектурной формы и окружающего пространства.

Великолепный изобразительный язык рисунков и чертежей, представленных в книге, позволяет, не прибегая к сложным математическим расчетам, выявить связь между типом несущей конструкции и архитектурной формой.

Книга создана на основе лекций и практических занятий, которые на протяжении нескольких десятилетий вел Хайно Энгель, выдающийся конструктор и педагог. Это справочное издание, безусловно, станет настольной книгой не только студентов архитектурных и строительных вузов, но и практикующих архитекторов и инженеров-конструкторов.

